
Федеральное агентство по образованию

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

№ 4 (96). Декабрь, 2008

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)
- И. П. ДУДАНОВ**
доктор медицинских наук, профессор,
член-корреспондент РАМН (Петрозаводск)
- В. Н. ЗАХАРОВ**
доктор филологических наук,
профессор (Москва)
- А. С. ИСАЕВ**
доктор биологических наук,
профессор, академик РАН (Москва)
- Н. Н. МЕЛЬНИКОВ**
доктор технических наук,
профессор, академик РАН (Апатиты)
- И. И. МУЛЛОНЕН**
доктор филологических наук,
профессор (Петрозаводск)
- В. П. ОРФИНСКИЙ**
доктор архитектуры, профессор,
действительный член Российской академии
архитектуры и строительных наук (Петрозаводск)
- ПААВО ПЕЛКОНЕН**
доктор технических наук,
профессор (г. Йоенсуу, Финляндия)
- И. В. РОМАНОВСКИЙ**
доктор физико-математических наук,
профессор (Санкт-Петербург)
- Е. С. СЕНЯВСКАЯ**
доктор исторических наук, профессор (Москва)
- СУЛКАЛА ВУОККО ХЕЛЕНА**
доктор философии, профессор (г. Оулу, Финляндия)
- Л. Н. ТИМОФЕЕВА**
доктор политических наук, профессор (Москва)
- А. Ф. ТИТОВ**
доктор биологических наук, профессор,
член-корреспондент РАН (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)
- Н. Н. НЕМОВА**
доктор биологических наук,
профессор, член-корреспондент
РАН (Петрозаводск)
- В. И. ПАТЯКИН**
доктор технических наук,
профессор (Санкт-Петербург)
- Е. И. РАТЬКОВА**
ответственный секретарь серии (Петрозаводск)
- В. И. СЫСУН**
доктор физико-математических наук,
профессор (Петрозаводск)
- В. С. СЮНЁВ**
доктор технических наук,
профессор (Петрозаводск)
- Б. М. ШИРОКОВ**
кандидат физико-математических наук,
доцент (Петрозаводск)
- В. В. ЩИПЦОВ**
доктор геолого-минералогических наук,
профессор (Петрозаводск)

Federal Educational Agency

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

№ 4 (96). Desember, 2008

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>PAAVO PELKONEN
Doctor of Technical Sciences, Professor (Joensuu, Finland)</p> |
| <p>I. DUDANOV
Doctor of Medical Sciences, Professor,
the RAMS Corresponding Member (Petrozavodsk)</p> | <p>I. ROMANOVSKY
Doctor of Physical-Mathematical Sciences,
Professor (St. Petersburg)</p> |
| <p>V. ZAKHAROV
Doctor of Philological Sciences,
Professor (Moscow)</p> | <p>E. SENYAVSKAYA
Doctor of Historical Sciences, Professor (Moscow)</p> |
| <p>A. ISAYEV
Doctor of Biological Sciences,
Professor, the RAS Member (Moscow)</p> | <p>HELENA SULKALA
Doctor of Philosophy,
Professor (Oulu, Finland)</p> |
| <p>N. MEL'NIKOV
Doctor of Technical Sciences,
Professor, the RAS Member (Apatiti)</p> | <p>L. TIMOFEEVA
Doctor of Political Sciences, Professor (Moscow)</p> |
| <p>I. MULLONEN
Doctor of Philological Sciences,
Professor (Petrozavodsk)</p> | <p>A. TITOV
Doctor of Biological Sciences, Professor,
the RAS Corresponding Member (Petrozavodsk)</p> |
| <p>V. ORPHINSKY
Doctor of Architecture, Professor,
Full Member of Russian Academy
of Architectural Sciences (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>V. SISUN
Doctor of Physical-Mathematical Sciences,
Professor (Petrozavodsk)</p> |
| <p>N. NEMOVA
Doctor of Biological Sciences,
Professor (Petrozavodsk),
RAS Corresponding Member</p> | <p>V. SYUNEV
Doctor of Physical-Mathematical Sciences,
Professor (Petrozavodsk)</p> |
| <p>V. PATYAKIN
Doctor of Technical Sciences,
Professor (St. Petersburg)</p> | <p>B. SHIROKOV
Candidate of Physical-Mathematical Sciences,
Docent (Petrozavodsk)</p> |
| <p>E. RAT'KOVA
Series Executive Secretary (Petrozavodsk)</p> | <p>V. SCHIPTSOV
Doctor of Geological-Mineralogical Sciences,
Professor (Petrozavodsk)</p> |

СОДЕРЖАНИЕ

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

- Маркаданов Ю. В., Таничева Н. В., Ратькова Е. И.*
К юбилею строительного факультета 7
- Россытнова А. М.*
Опыт сотрудничества 9
- Гришина И. Е.*
Отражение русско-карельского культурного взаимодействия в традиционном жилище Северной Карелии 10
- Медведев П. П., Медведева Е. П.*
Морфология региональной системы расселения Российского Севера 20
- Петров А. Н., Воронин З. А., Евсеева А. В.*
Особенности физически-нелинейного расчета железобетонных балок-стенок с трещинами при знакопеременном нагружении 31
- Рочев А. А.*
Математическая модель нелинейно упругих стержневых плит и оболочек 34

БИОЛОГИЯ

- Краснов Ю. В., Шкляревич Г. А., Горяев Ю. И.*
Особенности питания гаги-гребенушки (*Somateria Spectabilis*) на мелководьях у острова Долгий (юго-восток Баренцева моря) 37
- Горбачев С. А., Ивантер Д. Э.*
Эколого-рыбохозяйственная характеристика системы реки Янисйоки (юго-западная Российская Карелия) 41
- Коросов А. В., Хилков Т. Н.*
Количественная характеристика суточной активности обыкновенной гадюки 52

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

- Жестяников А. Л., Доршакова Н. В., Карапетян Т. А.*
Нейроциркуляторная дистония: роль дисбаланса микроэлементов в патогенезе 56
- Марусенко И. М.*
Биологическая терапия при ревматоидном артрите 62
- Герасимова Л. И.*
Усиленная холод-индуцированная вазоконстрикция как донозологический признак при адаптации к условиям Севера 69

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

- Муравья Л. Н., Краскова Е. А.*
Пути повышения экономической эффективности производства молока 72

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Белый Е. К., Иоффе Г. В., Крупко М. С.*
Циркуляционная модель транспорта радиофармацевтического препарата в организме человека 77
- Гольдштейн Ю. Б.*
Влияние изменения числа двухсторонних и односторонних связей на критическую нагрузку 80
- Васильев С. Б., Колесников Г. Н., Никонова Ю. В., Раковская М. И.*
Влияние локальной жесткости корпуса корообдирочного барабана на изменение силы соударений и величину потерь древесины 84
- Власов Е. Н., Иванов Н. Ю., Перельман А. Я.*
Оптимизация процесса газозлектрической наплавки деталей лесных машин в среде пропан-бутана 92

ФИЗИКА

- Луизова Л. А., Пискунов А. А., Подрядчиков С. Ф., Соловьев А. В., Хахаев А. Д.*
Исследование структуры плазменно-пылевых образований с помощью пространственных спектров 96
- Подгорный В. И.*
Некоторые результаты исследования распыления шунгита и графита в дуговом разряде 100

- Научная информация 107
- Юбилеи 108
- Информация для авторов 112
- Contents..... 113

Редактор Г. А. Мехралиева. Корректор С. Л. Смирнова. Переводчик Е. И. Соколова. Дизайн, верстка И. Г. Лежнев.

Подписано в печать 09.12.2008. Формат 60х90 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
10 уч.-изд. л. Тираж 500 экз. Изд. № 276

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

ЮРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ МАРКАДАНОВ

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой механики, декан строительного факультета ПетрГУ
markadanov@psu.karelia.ru

НАТАЛЬЯ ВЛАДИМИРОВНА ТАНИЧЕВА

кандидат технических наук, доцент кафедры архитектуры, строительных конструкций и геотехники, заместитель декана строительного факультета ПетрГУ по научной работе
markadanov@psu.karelia.ru

ЕЛЕНА ИГОРЕВНА РАТЬКОВА

старший преподаватель кафедры систем автоматизированного проектирования строительного факультета ПетрГУ
dev@psu.karelia.ru

К ЮБИЛЕЮ СТРОИТЕЛЬНОГО ФАКУЛЬТЕТА

В июле 1968 года приказом МВССО РСФСР был организован факультет промышленного и гражданского строительства (ПГС) в составе трех кафедр: организации, технологии и экономики строительства, конструкций и архитектуры промышленных и гражданских зданий, начертательной геометрии и графики. Деканом факультета был назначен доктор военных наук, профессор В. В. Казин, имевший большой опыт руководства строительством и являвшийся членом Союза архитекторов СССР. До этого в далеком 1959 году в связи с острой нехваткой инженерных кадров в строительной отрасли Карелии на кафедре строительного дела лесоинженерного факультета Петрозаводского госуниверситета была начата подготовка инженеров-строителей по специальности «Промышленное и гражданское строительство». Специальные дисциплины и общепромышленную подготовку вели кафедры лесоинженерного и физико-математического факультетов. Всей организационной работой и учебным процессом руководил заведующий кафедрой строительного дела и декан лесоинженерного факультета А. Л. Лукашин.

В 1973 году после завершения строительства пристройки к главному корпусу университета факультет получил помещения для аудиторных занятий, лабораторий и административных подразделений. В проектировании и строительстве

этого здания принимали активное участие студенты и преподаватели факультета.

В 1974 году деканом факультета был избран заведующий кафедрой механики доцент И. О. Осипов.

Для повышения научной квалификации преподавателей использовались различные формы: направление в целевую аспирантуру, прикрепление для завершения и защиты кандидатских диссертаций к ведущим вузам страны, направление перспективных выпускников факультета на годичную стажировку с последующим переводом в целевую аспирантуру, перевод преподавателей в старшие научные сотрудники для завершения докторских диссертаций, прохождения научной стажировки и ФПК. В результате проделанной работы успешно защитили докторские диссертации В. П. Орфинский, Р. И. Аюкаев и О. Г. Воробьев, ряд преподавателей защитили кандидатские. Если в 1975 году преподаватели с учеными степенями и званиями составляли 26,3 % от общего числа преподавателей факультета и все кафедры возглавляли доценты, то в 1987 году – 59,8 %, из шести кафедр три возглавляли доктора наук и профессора.

Важное место в работе факультета занимала профессиональная подготовка будущих специалистов, которая проводилась по комплексным планам факультета и кафедр и включала разнообразные формы связи учебного процесса с производством. С ростом научного потенциала

факультета вырос объем научно-исследовательских разработок по госбюджетной тематике и по заданиям предприятий в форме хоздоговоров и содружеств. Установились тесные связи с Главсевзапстроем, Карелгражданпроектом и другими производственными организациями. Постановлением Карельского обкома партии факультет был утвержден головной организацией по разработке комплексной программы интенсификации строительного производства в Карелии.

В 1987 году на факультете приступили к подготовке инженеров-реставраторов. В конце 1987 года деканом факультета был избран заведующий кафедрой организации строительного производства, кандидат технических наук, доцент А. И. Шишкин (ныне доктор технических наук, профессор). В том же году при строительном факультете образован НИИ историко-теоретических проблем народного зодчества – филиал НИИ теории архитектуры и градостроительства Российской академии архитектуры и строительных наук, представляющий новое научное направление в истории архитектуры – этноархитектуроведение. Руководитель – В. П. Орфинский, доктор архитектуры, профессор, действительный член Российской академии архитектуры и строительных наук. В настоящее время научная тематика института включает исследования этнических особенностей народного деревянного зодчества, типологии, закономерностей и тенденций развития традиционных построек; междисциплинарные исследования народного зодчества в контексте традиционной культуры; разработку совместно со специалистами ИЯЛИ КарНЦ РАН методов объективизации исследований народного зодчества; прикладные работы по реставрации и охране памятников народного деревянного зодчества и исторических сельских поселений. Деятельность института по разработке фундаментальных научных тем, созданию информационных систем для исследований деревянного зодчества, проведению экспедиций и конференций, изданию сборников и монографий поддерживается 11 грантами РФФИ. Сотрудниками института выполнен ряд фундаментальных и прикладных работ по планам научно-исследовательских работ РААСН и в рамках историко-культурных экспедиционных проектов по ФЦП «Интеграция науки и высшей школы».

Активизировалась работа факультета по повышению научной квалификации преподавательских кадров с акцентом на защиту докторских диссертаций. Защитили докторские диссертации В. М. Левин, А. И. Шишкин и А. Н. Петров. Избраны академиками: Российской академии архитектуры – В. П. Орфинский, Жилищно-коммунальной академии России – Р. И. Аюкаев.

В 1998 году деканом факультета стал кандидат технических наук, доцент Ю. В. Маркаданов.

С ростом научного потенциала на факультете сформировались перспективные научные направления по актуальным научно-техническим про-

блемам в области архитектуры, строительства, жилищно-коммунального хозяйства и охраны окружающей среды, многие из них включены в федеральные и региональные научные программы.

Научно-исследовательская работа на факультете ведется по следующим направлениям:

- «Геометрическое моделирование утраченных памятников архитектуры по иконографическим материалам» (кафедра начертательной геометрии и инженерной графики);
- «Морфология традиционных архитектурно-пространственных систем и объектов Российского Севера. История и теория народного деревянного зодчества» (кафедра систем автоматизированного проектирования);
- «История и теория народного деревянного зодчества» (кафедра архитектуры, строительных конструкций и геотехники);
- «Исследование теоретических основ проектирования строительных конструкций по нормам Европейского Союза» (кафедра архитектуры, строительных конструкций и геотехники);
- «Прикладные задачи линейно деформируемых конструкций» (кафедра механики);
- «Механика композитных материалов» (кафедра механики);
- «Прикладные задачи динамики сплошной среды» (кафедра механики);
- «Гидродинамика волокнистых суспензий» (кафедра механики);
- «Моделирование скелетно-мышечной системы опорно-двигательного аппарата человека» (кафедра механики);
- «Реконструкция и модернизация сооружений водопровода и канализации» (кафедра водоснабжения, водоотведения);
- «Развитие теории и практики гидравлических расчетов водопроводных сетей города» (кафедра водоснабжения, водоотведения);
- «Обработка и утилизация осадков водопроводных и канализационных очистных сооружений» (кафедра водоснабжения, водоотведения);
- «Инженерное обеспечение загородных объектов» (кафедра водоснабжения, водоотведения);
- «Технология устройства оснований и фундаментов» (кафедра организации строительного производства);
- «Стратегическое планирование, организация, выполнение планов и управление производством в условиях конкуренции» (кафедра организации строительного производства).

Учебно-методическим процессом факультета руководит Ученый совет факультета, председателем которого является декан факультета, кандидат технических наук, доцент Ю. В. Маркаданов и его заместители: по научной работе – кандидат технических наук, доцент Н. В. Таничева; по учебной работе – старший преподаватель Н. А. Доспехова; по воспитательной работе – кандидат технических наук, доцент А. К. Вихорев. В настоящее время в состав факультета входят шесть кафедр:

- кафедра архитектуры, строительных конструкций и геотехники (зав. кафедрой, профессор А. Н. Петров),
- кафедра организации строительного производства (зав. кафедрой, доцент А. К. Вихорев),
- кафедра механики (зав. кафедрой, доцент Ю. В. Маркаданов),
- кафедра начертательной геометрии и инженерной графики (зав. кафедрой, доцент Б. Г. Марков),
- кафедра водоснабжения, водоотведения (зав. кафедрой, профессор Р. И. Аюкаев),
- кафедра систем автоматизированного проектирования (зав. кафедрой, доцент П. П. Медведев).

За 40 лет работы на факультете сформировался квалифицированный профессорско-преподавательский состав. Сегодня на факультете 47 штатных преподавателей, из них 2 академика, 6 профессоров и 31 доцент. За последние 5 лет опубликовано свыше 400 работ, в том числе 5 монографий, 6 учебных пособий. Из них опубликованы научные и методические работы: 2003 год – 71 научный труд, 2004 год – 95, 2005 год – 82, 2006 год – 71, 2007 год – 82.

За последние пять лет докторскую диссертацию защитил Г. Н. Колесников, кандидатские диссертации: М. И. Раковская, Р. Р. Аюкаев, П. П. Назарьев, О. Б. Марков, И. В. Симонова, А. С. Селиванов.

Сегодня строительный факультет играет важную роль в подготовке инженерных кадров для строительных организаций Карелии и других регионов страны. В настоящее время на факультете обучается 351 студент очного отделения, 8 студентов очно-заочного отделения, 260 студентов заочного отделения по следующим специальностям:

- промышленное и гражданское строительство (специализации: технология, организация и экономика строительного производства, информационные технологии в строительстве, реконструкция и реставрация зданий и сооружений);
- водоснабжение и водоотведение.

За годы своего существования факультет подготовил более 4 тысяч специалистов. Сейчас трудно найти в нашей республике строительную организацию, в которой не работали бы выпускники строительного факультета. Многие стали руководителями крупных строительных организаций Карелии. Некоторые из выпускников стали известными руководителями в республике: С. Л. Катанандов, С. П. Блинников, В. А. Шлямин, Ф. Т. Филимонов, В. Ф. Червошкин, А. И. Демьяненко, В. И. Макаров и др. Накоплен большой опыт, положительные моменты которого обеспечивают дальнейшее развитие строительного факультета.

АННА МИХАЙЛОВНА РОССЫПНОВА

менеджер по обучению и развитию персонала ЗАО «Карелстроймеханизация»
annarossip@mail.ru

ОПЫТ СОТРУДНИЧЕСТВА

Более десяти лет строительный факультет ПетрГУ плодотворно сотрудничает с крупнейшей строительной компанией республики Карелия – ЗАО «Карелстроймеханизация» (ЗАО «КСМ»). Решение о сотрудничестве было принято в 1997 году благодаря инициативе декана факультета ПГС А. И. Шишкина и генерального директора ЗАО «КСМ» Н. И. Макарова. Принятое решение выгодно обеим сторонам: для ПетрГУ это возможность приблизить теоретическую базу факультета к производству, для ЗАО «КСМ» – способ найти перспективных молодых специалистов. Сотрудничество предполагает работу по нескольким направлениям: поощрение студентов и преподавателей факультета и повышение квалификации работников ЗАО «КСМ».

Отбор наиболее успешных студентов с III, IV и V курсов проводится ежегодно. Будущие строители борются друг с другом за получение одной из трех именных стипендий, выплачиваемых за счет средств ЗАО «КСМ». Стипендия компании – это не только материальное подспорье для студентов, но и перспектива работы в стабильной процветающей организации с дос-

тойной оплатой труда и максимально комфортными условиями для персонала.

Помимо выплаты стипендий ЗАО «КСМ» предоставляет студентам возможность прохождения летней оплачиваемой практики и написания дипломных проектов на базе предприятия. Студентам V курса предлагается постоянная работа.

Особое внимание стоит уделить такому направлению сотрудничества, как прохождения работниками ЗАО «КСМ» обучения на базе ПетрГУ, в учебном центре строительных технологий «Авика». Центр обеспечивает подготовку рабочих специальностей, повышение квалификации специалистов строительного комплекса, а также проведение научных исследований в сфере строительства.

Позиция руководителей строительного факультета и ЗАО «КСМ» активна: взаимовыгодное сотрудничество необходимо продолжить, поскольку оно, несомненно, положительно влияет на всех его участников, способствует обновлению и развитию строительной отрасли, что, в свою очередь, отражается на благополучии и процветании всего региона в целом.

УДК 72.03(470.22)

ИРИНА ЕВГЕНЬЕВНА ГРИШИНА

заместитель директора НИИ историко-теоретических проблем народного зодчества ПетрГУ

niinaz@karelia.ru

**ОТРАЖЕНИЕ РУССКО-КАРЕЛЬСКОГО КУЛЬТУРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
В ТРАДИЦИОННОМ ЖИЛИЩЕ СЕВЕРНОЙ КАРЕЛИИ**

В статье представлены итоги изучения традиционного жилища Северной Карелии, основанного на материалах натурного обследования субрегиона этноархитектурными экспедициями НИИНаЗ ПетрГУ 2004–2007 годов. Описаны типологические особенности деревянных жилых построек и их элементов; ставится вопрос об оценке архитектурно-строительной традиции субрегиона как интегрированной карельско-русской.

Ключевые слова: Северная Карелия, Беломорское Поморье, карелы, русские, архитектурные традиции, жилище, избы, печи, структура домов-комплексов

В Северной Карелии расположены две большие историко-культурные зоны, отличающиеся помимо прочего и по этническому признаку. Это материковая Беломорская Карелия с карельским населением и русское Поморье, включающее Карельский и Поморский берега Белого моря.

Между тем этническая дифференциация этой обширной территории на протяжении длительной истории ее освоения была выражена не столь отчетливо, как сегодня. Главным образом это замечание касается Поморья, которое в Средневековье осваивалось одинаково активно как древними карелами, так и славянским населением, что подтверждается не только историческими письменными источниками, но и новейшими топонимическими исследованиями [5; 175–199]. Причем специфика топонимии Поморья («необрусевшая» микротопонимия, особенности звучания топонимов) позволяет говорить об относительно поздней ассимиляции местного карельского населения [5; 180, 187].

Культурное своеобразие Поморья сформировалось в результате синтеза карельской и русской культуры. Можно ли выявить следы этого взаимодействия на архитектурном материале?

В ходе экспедиций НИИНаЗ ПетрГУ в 2004–2007 годах было обследовано 13 поморских поселений: 9 с русским населением (Поньгома, Гридино, Калгалакша, Кереть, Черная Речка, Сумский Посад, Колежма, Вирма, Сухое), 3 – с карельским (Нильмозеро, Нильмогуба, Соностров), 1 – со смешанным карельско-русским населением (Княжая Губа), а также 8 материковых поселений на южной и западной периферии Поморья: 4 русских (Воренжа, Ендогуба, Сумостров, Лапино) и 4 карельских (Боярская, Панозеро, Юшкозеро, Пизьмагуба). Обобщение экспедиционных материалов проведено в рамках НИР «Этноархитектурная регионалистика на примере Русского Севера» (№ 1.5.10 по плану НИР РА-АСН, 2005–2007 гг.). При натурном обследовании поселений Карельского и Поморского берегов Белого моря и материковых поселений, на-

ходящихся в зоне их влияния, было зафиксировано, что отголоски этнокультурной неоднородности в традиционном зодчестве Карельского Поморья сохранились до нашего времени.

Существует распространенный взгляд на поморскую архитектуру как на результат ускоренной модернизации, связанной с ранним распространением в Поморье заводских пиломатериалов и в целом с его высоким экономическим уровнем развития, достигнутым к концу XIX – началу XX века. Не опровергая этого положения, попытаемся обратить внимание на противоположные, архаические, признаки в жилище поморов и на его связи с архитектурой сопредельных карельских земель.

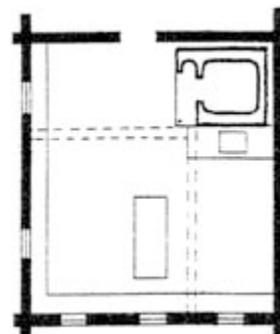
В Карелии особенности структуры жилых построек, планировки и элементов избы, связи жилых и хозяйственных помещений в рамках дома-комплекса часто служат указателями этнической принадлежности жилого дома. Однако в Поморье ориентация на такие указатели нередко «дает сбой» и позволяет рассматривать эти случаи как примеры проявления иноэтнического архитектурного субстрата.

Важно отметить, что те постройки, которые в настоящее время атрибутируются как достоверно карельские, принадлежат потомкам карел, которые переселились в Поморье в конце XIX – начале XX века (Нильмозеро, Нильмогуба, Соностров, Княжая Губа). (Сведения о времени появления карел в указанных поселениях собраны при их натуральных обследованиях.) Но в истории Поморья существовали и более ранние периоды распространения карельской строительной культуры, и наоборот, были периоды экспансии русско-поморской строительной культуры на запад, в пределы карельского этнического ареала. Один из последних таких периодов, например, привел к проникновению характерных для поморского жилища крыш с мезонинами над главным фасадом не только в поселения этнического порубежья, но и в глубинные материковые северно-карельские деревни.

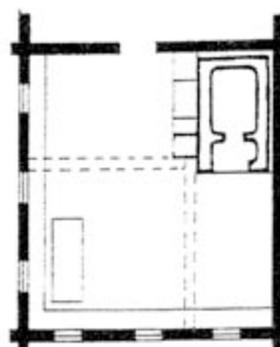
Впрочем, внешние детали дома легко изменяются под влиянием веяний «архитектурной моды». Более устойчивы элементы жилища, связанные с духовными этническими традициями. К ним, безусловно, относится планировка и оборудование интерьера избы – главного помещения традиционного жилого дома.

Организация избы, игравшая важную роль в регулировании поведения членов семьи в ритуальной и повседневной обстановке, определяется постановкой печи. Последняя в традиционном жилище Карелии устанавливается в углу рядом со входом. У разных групп карел и некоторых групп русских, ассимилировавших карельское население, например у части заонежан, печь обращена устьем к боковой стене («боковая ориентация»), а у большинства русского населения Карелии – к лицевой стене («прямая ориентация») (рис. 1). По давней исследовательской

традиции первый из приемов ориентации печи принято называть «финским», второй – «русским» [2; 50], [13; 101], [12; 38]. План избы с «боковой ориентацией» печи считается стадильно более ранним и сохраняется у основной массы карельского населения в силу большей консервативности их архитектуры по сравнению с зодчеством русских [6; 12–14].



а



б

Рис. 1. Постановка печи в избе: а – с боковой ориентацией устья, б – с прямой ориентацией устья

Однако в описанной закономерности распространения двух типов ориентации печи на территории Карелии существует исключение: у южных ливвиков (одной из этнодиалектных групп карел), а также у прионежских вепсов печь в избе также ставится «по-русски» – с прямой ориентацией устья, что можно объяснить относительно динамичным развитием жилища на крайнем юге Карелии и влиянием южных соседей, у которых повсеместно фиксируется давняя устойчивая «русская» постановка печи в избе.

Вторая зона подобной «аномалии» в ориентации печи выявлена во время экспедиции в Северную Карелию. Здесь «русская» постановка печи с прямой ориентацией устья была отмечена не только в русско-поморских поселениях, но и в карельских деревнях – прибрежных Нильмогубе и Нильмозере, а также материковой Боярской (рис. 2).



Рис. 2. Печь с прямой ориентацией устья в деревне Боярская

На первый взгляд, такая постанковка печи, а значит, и вся функционально-планировочная организация избы, могла быть заимствована карельскими переселенцами у их русских соседей – поморов. Однако она зафиксирована в старейших домах указанных карельских деревень, многие из которых переселенцы начали возводить сразу после прибытия в Поморье, по всей видимости, во всех деталях и особенностях повторив традицию, бытовавшую на их прежнем месте жительства.

Можно допустить, что прямая ориентация печи в жилище северных карел – достаточно древнее явление; она сменилась во всех деревнях Беломорской Карелии боковой ориентацией сравнительно недавно. Косвенным подтверждением этому может служить план дома Ивана Сиркия в Лувозере, обследованный в конце XIX века [16; 56]: в его избе напротив устья печи, обращенной к боковой стене, не прорублено окно, как это делается обычно при такой постанковке печи у всех групп карел, то есть оконность избы в Лувозере соответствует прямой ориентации устья. По нашим наблюдениям, такое несоответствие между оконностью и постанковкой печи отмечается на тех территориях, где идет процесс смены ориентации печи с прямой на боковую (например, в южноливвиковском жилище [3; 76]).

Насколько широко была распространена прямая ориентация печи у северных карел? Если полагаться на внешние признаки – характерную оконность избы, то список поселений, где бытовала такая постанковка печи, можно дополнить деревнями северо-западной Карелии – Хярькеними, Аконлахти [16; 30, 31], Мунанкилахти [18; 105], Ухта [17], Хайколя [10; 270–275]. А к деревням, где достоверно зафиксированы планы с прямой постанковкой печи, помимо Боярской, Нильозера и Нильмогубы причислить финскую приграничную деревню Лентиира [16; 41].

В любом случае, для зодчества северных карел прямая ориентация печи является сегодня реликтовым признаком, а ее сохранению в карельских поморских деревнях могли способствовать контакты относительно недавних переселенцев с коренным поморским населением, в жилище которого повсеместно бытует именно «русская» прямая ориентация печи. В свою очередь, прямая постанковка печи, по всей видимости, была лишь эпизодом в истории развития жилища северных карел: в более раннее время она могла распространиться с русских территорий вместе с рубкой «в обло», архитектурными деталями – кронштейнами-модульонами и волютными наличниками (примеры деталей см.: [16; 122, 126], [15; 29, 37, 39, 40, 43]), конструкцией бесперерубных фронтонов и безвозвальной тесовой крыши с резными шеломами (см.: [15; 43–44]), характерными для русского культового зодчества часовнями с надстроенными колокольнями.

Обследованная нами промысловая избышка на рыбацкой тоне Илейкина близ деревни Соностров подтверждает наши предположения о том, что прямая ориентация печи не имеет длительной укорененности в северно-карельской строительной традиции. В избышке обнаружен ряд архаичных деталей – уникальный сегодня двускатный потолок по продольной балке (след таких потолков – продольное расположение матицы – широко бытует в жилище и банях тихвинских карел), внутренняя завалинка, поземные полаты на срубном основании. Черная печь-каменка в избышке имеет боковую ориентацию (рис. 3). Если учесть, что промысловое жилище, как и традиционные хозяйственные постройки – бани, риги, амбары, как правило, сохраняют древние планировочные приемы и конструктивные элементы, уже вышедшие из употребления в жилище [14; 16–46], [7; 19–31], то, имея в виду весь комплекс архитектурной архаики, отличающий избышку, боковую ориентацию печи также необходимо отнести к издавна бытующим в северно-карельском зодчестве решениям.

Особая традиционность в сохранении отдельных элементов жилища присуща не только карельским, но и старым русским поселениям Поморья, где в домах поддерживаются старинные интерьеры изб, включая русские печи, запечья-заулки, припечные пристройки – голбцы для входа в подклет, воронцы – толстые полкитесины, идущие от угла печи к лицевой и боковой стенам избы (рис. 4). Часто такая первоначальная изба включается в состав развитого многокомнатного жилища, где в других помещениях стоят «новомодные» печи-голландки и городская мебель, которую местные мореходы-судовладельцы привозили из дальних плаваний.

Особый интерес в русском жилище Поморья представляют печи в избах. Неожиданной находкой стал распространенный здесь архаичный

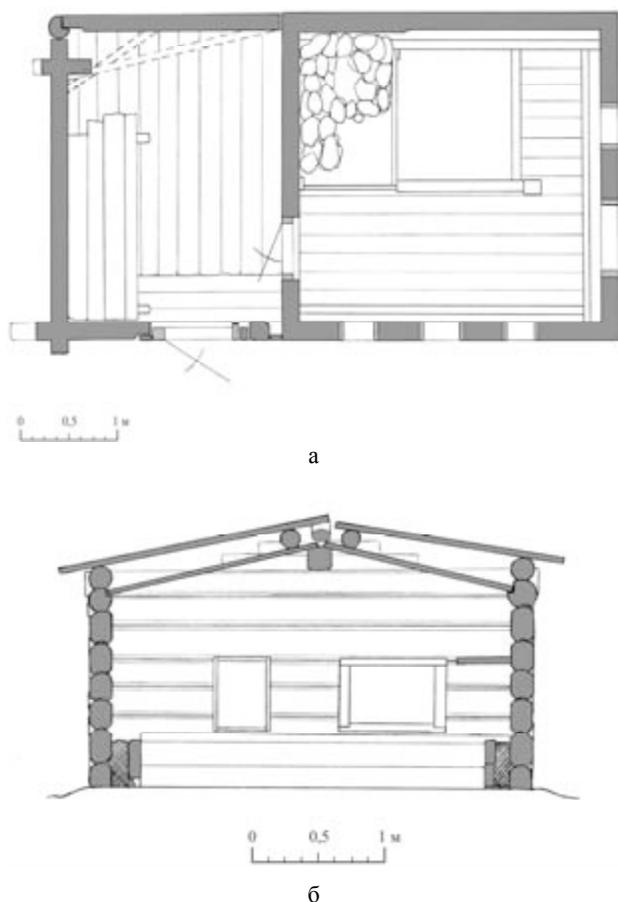


Рис. 3. Тоня Илейкина близ д. Соностров: а – план избушки; б – поперечный разрез избушки (рис. А. Косенкова по обмеру автора)



Рис. 4. Русская печь с воронцами и голбцом в доме Т. И. Смагиной, с. Сухое

тип печи с полуцилиндрической в поперечном сечении топочной камерой (по-местному – «бочкой»), лежанка над которой выполнена в виде дощатого настила, опирающегося на выступ колпака с одной и стенку у заднего торца «боч-

ки» – с другой стороны. Бытование на территории России печей с непрямоугольным – полусферическим, куполообразным или сводчатым – корпусом исследователи относят к домонгольским временам, а выход из употребления и замену печами «в форме куба» – к XIII–XV векам [1; 15, 18], [11; 52]. Но, как показали наши обследования, в Поморье русские печи не имеют прямоугольного корпуса до настоящего времени. При этом нередко в поморских печах старинное устройство топочной камеры, сложенной из камня, сочетается с изящной обработкой лицевой стороны печи, изготовленной с применением самодельного кирпича (рис. 5).

Печи с полной «бочкой» характерны для жилища Карельского берега Белого моря. В печах на Поморском берегу «бочка» превращается в «полубочку»: ее верхняя часть, составляющая примерно одну треть лежанки, выравнивается, а боковые части перекрываются дощатыми настилами. Под ними на покатых поверхностях «бочки» образуются большие «печурки», используемые для сушки рукавиц, носков и другой мелочи (рис. 6). Такие печи по своему облику уже приближаются к характерным для всей Карелии печам с прямоугольным корпусом. Южная граница распространения печей с «полубочками» проходит по территории Сумозерья, находящегося в зоне влияния Поморья. Интересные примеры перехода к печи с прямоугольным



Рис. 5. Печь с «бочкой» и деревянным настилом лежанки в доме М. В. Коноваловой, с. Гридино



а



б

Рис. 6. Печи с «полубочкой»: а – в доме М. С. Дмитриевой, с. Вирма; б – в доме Ф. А. Кузнецова, с. Сумский Посад (фрагмент)

корпусом обнаружены в сумозерской деревне Воренже: на боковом скате «полубочек» устраиваются один-два кирпичных устоя, расчленяющих большую печурку на отсеки и поддерживающих боковой деревянный настил, составляющий вместе с верхней плоскостью печи лежанку (рис. 7).

Глубокое взаимопроникновение русской и карельской строительных традиций прочитывается в структуре поморского жилища, представленного домами-комплексами, объединяющими под одной крышей жилые и хозяйственные помещения.



Рис. 7. Печь с кирпичными устоями на скате полубочки, д. Воренжа

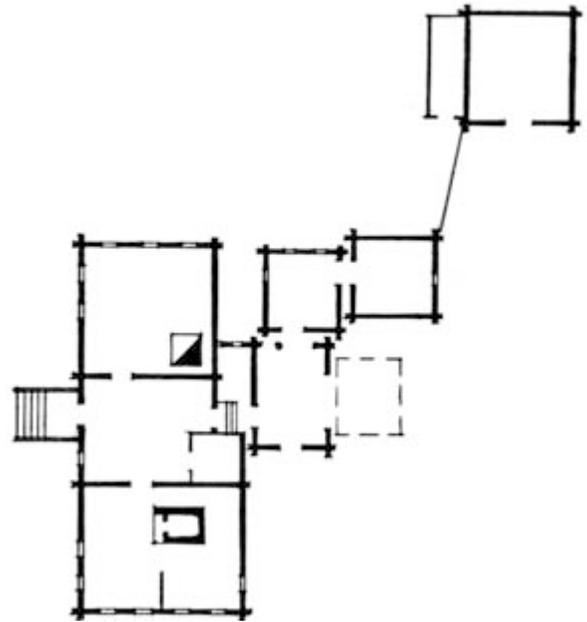


Рис. 8. План дома-комплекса У. С. Кошкиной в карельской деревне Нильмогуба, начало XX века

По своему облику дома-комплексы Поморья весьма разнообразны. На севере, в карельских деревнях Нильмозере и Нильмогубе, наряду с упорядоченными по структуре домами встречаются примеры консервации архаичных принципов формирования домов-комплексов путем спонтанных хаотических пристроек хозяйственных помещений (рис. 8). На Поморском берегу традиционные для Поморья хозяйственные части нередко пристроены к модернизированным многокомнатным жилым частям. В целом же для обследованной территории типичны дома-комплексы типа «брус» с последовательной связью жилой части (изба и горница), сеней и двухэтажного двора-сарая с пристроенными, частично или полностью встроенными хлевами (рис. 9).

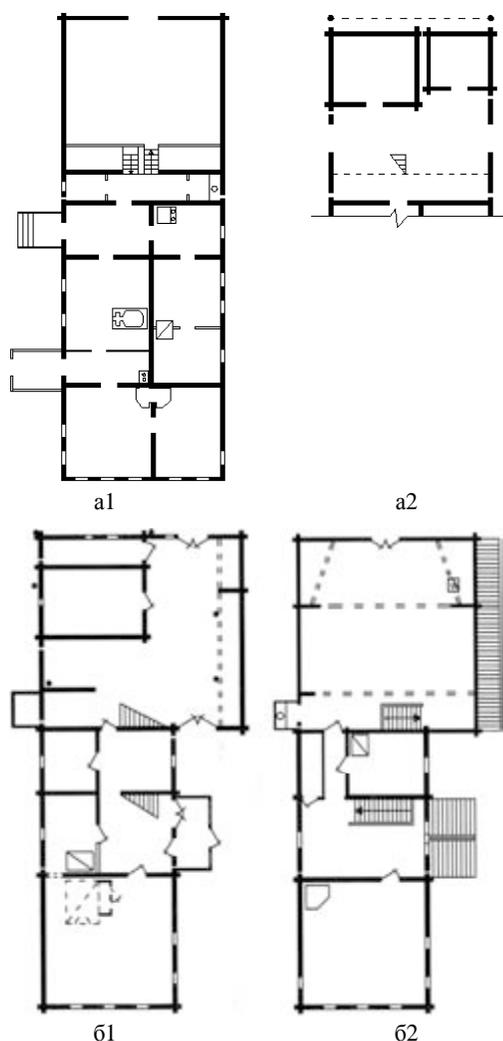


Рис. 9. Дома-комплексы русских поселений Поморья (рис. Н. Патрашковой по обмеру автора): а – дом равноширокий «брус» с нетрадиционной структурой жилой части и неполными дворовыми сенями (дом капитана Баканова, 1911 год, с. Сумский Посад); а1 – план жилого этажа и сарая; а2 – план двора; б – дом-«брус» с уширенным двором-сараем (дом Е. И. Кочина, конец XIX – начало XX века, с. Колежма); б1 – план первого жилого этажа и двора; б2 – план второго жилого этажа и сарая

Некоторые признаки домов-комплексов, например конструктивные особенности двора-сарая, являются для территории Карелии достаточно надежными этноопределяющими признаками [8; 63–80]. Так, опирание на столбы сарая целиком или его озадка над хлевами («сарай на столбах») распространено в восточной части Карелии с русским населением и у прионежских людииков – одной из этнодиалектных групп карел, зодчество которых испытало сильное влияние русских строительных традиций. Отсутствие столбов под сараем и решение его в едином срубе с двором с пристроенными или встроенными хлевами («сарай на срубе») характерно для западной, карельской, части Карелии. На территориях контактирования восточной и западной традиций встречаются решения с консоль-

ным нависанием озадка сарая над нижележащим срубом («консольный сарай»).

Наши обследования показали, что Поморье является зоной смешения различных конструктивных решений двора-сарая, что указывает на сосуществование в его границах разных этнических архитектурных традиций (рис. 10). Причем такое смешение, включая и варианты «консольного сарая», наблюдается только в русских деревнях, а в карельских Нильмогубе, Нильмозере, Сонострове и Боярской все сохранившиеся хозяйственные части домов-комплексов представлены обычным и для других карельских территорий конструктивным вариантом «сарая на срубе» с пристроенными хлевами.



а



б



в

Рис. 10. Дворы-сарай поморских домов-комплексов: а – с сараем на столбах, с. Колежма; б – с сараем на срубе, с. Сумский Посад; в – с консольным сараем, с. Колежма

Такой, казалось бы, второстепенный признак, как конструктивное решение двора-сарая, обладает значительной устойчивостью и приуроченностью к определенным этническим ареалам в силу того, что он связан с разными принципами формирования домов-комплексов, относящимися к периоду их появления в XVII–XVIII веках, и отражает особенности этого процесса в разных частях Карелии – в русской и карельской среде [8; 66–76]. Если ориентироваться на этноопределяющий характер указанных конструктивных особенностей двора-сарая в составе домов-комплексов, то можно говорить о достаточной интенсивности русско-карельских контактов в период значительно более ранний, чем рубеж XIX–XX веков, когда осуществлялась последняя массовая миграция карел в Поморье.

По признаку конструктивного решения дворов-сараяв русско-поморская строительная культура может рассматриваться как интегрированная русско-карельская. То же показывает и общая структура домов-комплексов. Для прочтения следов эволюционных преобразований наиболее информативной частью дома является переходная зона между передней избой и хозяйственной частью. Эту зону занимают сени с примыкающими к ним дополнительными жилыми помещениями, клетями, чуланами, проходами во двор, на сарай, в подклеты.

Карельские дома-комплексы отличаются развитой переходной зоной, включающей помимо прочего «заднюю» («боковую») избу, нередко в комплексе с горницей. По нашему предположению, структура с дополнительными жилыми помещениями, встроенными в сени, является рудиментом двухконечного дома типа «изба – сени – изба», возникшего на достаточно раннем этапе эволюции крестьянского жилища. У карел в силу относительно большей инерционности развития зодчества [6; 12–14] тенденция к сохранению двухконечного жилища в структуре дома-комплекса была выражена сильнее, чем у русских. Возможно, это связано и с тем, что сами дома-комплексы появились в карельской среде в целом позже, чем в русской, когда уже достаточно укоренилась традиция возведения двухконечных домов. Во всяком случае, эта традиция привела к сложению домов-комплексов типа «глаголь», которые позволяли пристраивать хозяйственные помещения, сохраняя привычную двухконечную структуру жилой части (рис. 11). В дальнейшем же приверженность к двухконечному жилищу определила замедленные темпы перехода к домам-комплексам типа «брус», что выразилось в долгом бытовании промежуточных форм – «брусов» с разноширокой жилой частью (за счет выступа боковой избы) или равношироких «брусов», но с упомянутой нами выше усложненной переходной зоной между основными функциональными частями дома-комплекса.

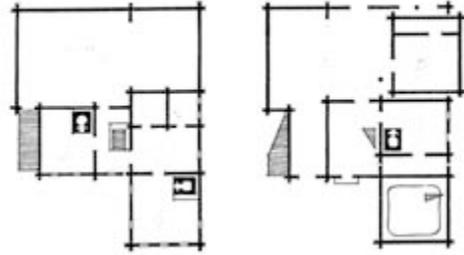
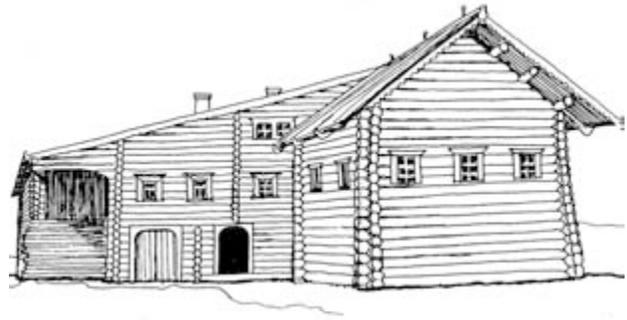


Рис. 11. Карельский дом-«глаголь» в деревне Лувозеро (рис. автора по материалам Ю. Бломшtedта и В. Суксдорфа [15; 7])

Последний случай наиболее эффектно и многообразно представлен в Панозере – старинном карельском селе, связанном рекой Кемь с Поморьем и несомненно испытывавшем значительное влияние русско-поморской строительной культуры. Это привело к внешнему упорядочению облика панозерских домов-комплексов, придав им вид равношироких «брусов», но не помешало сформировать самобытное местное решение сруба сеней с встроенными жилыми и складскими помещениями. Во внешнем облике дома оно отмечено живописным размещением разновеликих окон и широкими входными воротами, в некоторых случаях арочными. Сени дома расчленены по высоте, как правило, на три уровня: нижний со входами во двор и подклеты, средний со входом в переднюю избу, связанный с нижним уровнем лестницей, и верхний со срубом встроенной клетки, боковой избы и проходом на сарай. Вход в боковое жилье и клеть может осуществляться со второго или третьего уровня сеней. Анализ планировочной структуры сеней помог обнаружить возможные прототипы панозерских домов-комплексов среди материалов по западно-карельскому жилищу и реконструировать пути преобразования типичного карельского «глаголя» в равноширокий «брус» [4; 276–279].

Срубы панозерских сеней делятся на две большие группы по структуре плана: «продольные» сени, где собственно коммуникационно-входное помещение имеет прямоугольный план и вытянуто вдоль боковой стены, и «Г-образные» сени, более развитые по сравнению с «продольными» за счет добавленного к ним по-

перечного помещения, равного по ширине корпусу дома (рис. 12).

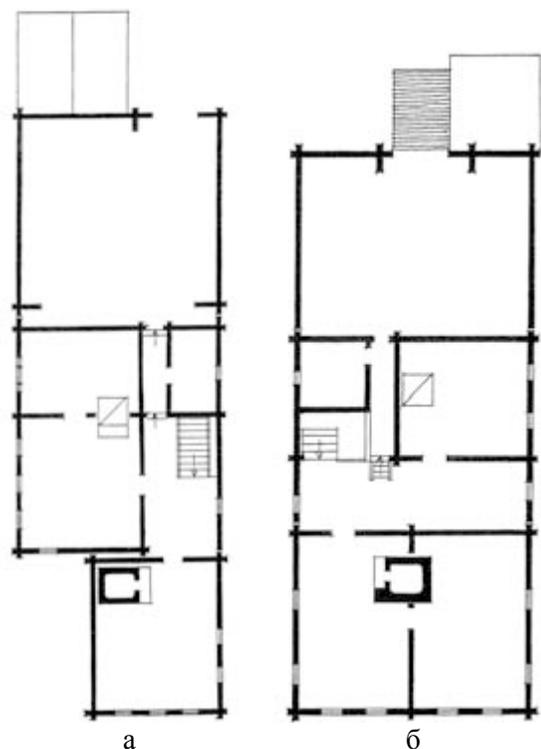


Рис. 12. Дома-комплексы деревни Панозеро:
 а – дом с продольными сенями, план жилого этажа (дом В. Г. Дементьева, 1918 год, передняя изба – 1950 год);
 б – дом с «Г-образными» сенями, план жилого этажа (дом В. С. Павловой, 1918 год, передние изба и горница – 1957 год)

Наши наблюдения в Поморье, в Сумозерье – на южной периферии поморской зоны, а также в некоторых карельских деревнях северо-западной Карелии показали, что на всех этих территориях представлены дома-комплексы со структурами плана переходной зоны между жилой и хозяйственной частями, подобными двум вариантам сруба панозерских сеней. Это позволяет предположить, что некогда значительная часть Северной Карелии, включая и Поморье, была единым ареалом, где в структуре дома-комплекса доминировали карельские традиции. Можно уточнить, что абсолютное большинство таких домов, сохраняющихся сегодня в русских поморских поселениях, подобны панозерским постройкам с «Г-образными» сенями. Но они имеют уже не поземные входы, подобные панозерским, а стадиально более поздние входы по крыльцам, поэтому отсутствие развитой пространственности сеней загущивает их сходство с карельскими аналогами (см. рис. 13а). Тем не менее нам удалось и на русских территориях обнаружить дома с поземными входами и интерьером сеней, сходным с панозерским. Среди них дома с «продольными» сенями в сумозерской деревне Ендогуба и поморском селе Сухое (рис. 13б, 13в; см. также рис. 9б).

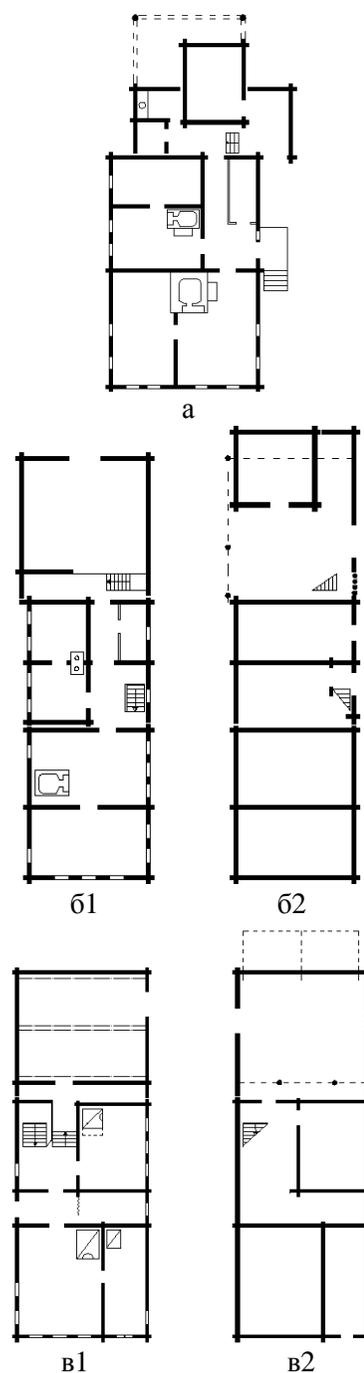


Рис. 13. Дома-комплексы с усложненной структурой переходной зоны между жилой и хозяйственной частью (рис. Н. Патрашковой по обмеру автора):

- а – дом Р. В. Ефремовой с «Г-образными» сенями и входом по крыльцу, жилая часть – 1921 год, двор-сарай – 1940-е годы, с. Калгалакша (план жилого этажа и двора);
- б – дом Т. С. Никоновой с «продольными» сенями и поземным входом, жилые помещения – 1920-е годы, сени и двор-сарай – конец XIX века, с. Сухое (б1 – план жилого этажа и сарая, б2 – план подклета и двора);
- в – дом в д. Ендогуба с «Г-образными» сенями и поземным входом, конец XIX – начало XX века (в1 – план жилого этажа и сарая, в2 – план подклета и двора)

Появление в поморском жилище крылец привело к упрощению структуры сеней. Однако роль их разноуровневой части взяли на себя вторые, дворовые, сени, связывающие уровни двора, сарая и подсеня, используемого в качестве холодной кладовой. С высокой степенью вероятности можно утверждать, что жилище с дворовыми сенями маркирует территорию, где в недавнем прошлом бытовали дома-комплексы с описанными выше усложненными сенями, характерными для жилища карел. Дворовые сени в Поморье существуют в единичных примерах в полном виде – с отделением бревенчатой стеной от двора и сарая (Нильмогуба, Нильмозеро, Вирма) (рис. 14), а абсолютно преобладают в неполном – с отделением стеной только от сарая. Различные варианты неполных дворовых сеней отмечены в деревнях Поморского берега почти в половине обследованных домов (см. рис. 9а); такую же долю дома с дворовыми сенями составляют в Сумозерье. Следующим этапом упрощения структуры дома-комплекса является редукция дворовых сеней до простой лестницы, расположенной в объеме двора-сарая и связывающей два его уровня с сенями. Именно такое решение, а также отсутствие «задних» изб типично для большинства поморских домов-комплексов, построенных в XX веке.

На территории Карелии полные дворовые сени ранее были зафиксированы лишь в домах-комплексах вепсов Прионежья, где их появление связано со спецификой относительно позднего формирования домов-комплексов [9; 384]. Наличие дворовых сеней в структуре домов-комплексов Поморья можно расценивать как свидетельство позднего формирования здесь комплексного жилища, к тому же синхронного у карел и русских. Однако причины тому могут быть разные: у карел – в связи с общей инертностью развития зодчества (подтверждает это и сохраняющиеся у них полные дворовые сени), у русских – в связи с ориентацией больше не на сельскохозяйственную, а на промышленную деятельность.

В целом общность процесса формирования дома-комплекса, отмеченная нами выше с привлечением примеров конструктивных особенностей дворов-сарая и специфики структуры переходной

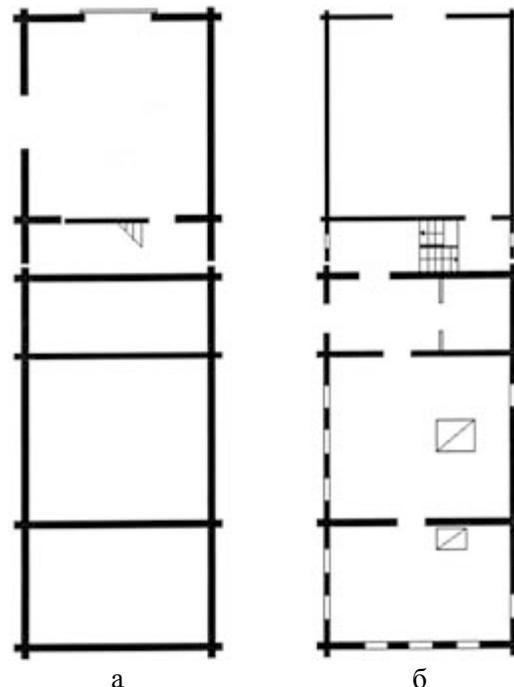


Рис. 14. Дом с полными дворовыми сенями в с. Вирма: а – план двора и подклета; б – план жилого этажа и сарая

зоны между жилой и хозяйственной частями дома, по-видимому, предопределена элементами русско-карельского синтеза на относительно ранних этапах развития строительной культуры Поморья. Однако результаты этого развития, достигнутые к XX веку, представляют разную картину. При обнаруженной генетической общности структуры домов-комплексов последние по степени упорядоченности и унифицированности у материковых карел представляют предшествующую по отношению к поморским домам ступень развития. В этом плане известный факт, что в жилище карел заимствованные русские элементы сохраняются гораздо дольше, чем на собственно русских, восточных, территориях, применительно к Северной Карелии можно интерпретировать несколько иначе: имеющий общую для субрегиона направленность процесс эволюции домов-комплексов в материковой его части протекал менее интенсивно, чем в поморской.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бломквист Е. Э. Крестьянские постройки русских, украинцев и белорусов (поселения, жилища, хозяйственные строения) // Восточнославянский этнографический сборник. Очерки народной материальной культуры русских, украинцев и белорусов в XIX – начале XX в. М., 1956. С. 5–458.
2. Габеев Р. М. Карельское деревянное зодчество. М.: Изд-во Академии архитектуры СССР, 1941. 215 с.
3. Гришина И. Е. Об архаизации в традиционном жилище южных карел в XX в. // История и культура тверских карел: перспективы развития: Материалы междунар. конф. Тверь: Тверской государственный ун-т, 1997. С. 75–78.
4. Гришина И. Е., Орфинский В. П. Традиционная застройка Панозера // Панозеро: сердце Беломорской Карелии. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2003. С. 259–280.
5. Кузьмин Д. В. Формирование этнолингвистической карты карельского Поморья по сведениям топонимии // Комплексные гуманитарные исследования в бассейне Белого моря / ИЯЛИ КарНЦ РАН. Петрозаводск: Острова, 2007. С. 175–199.
6. Орфинский В. П. Несинхронность эволюционных преобразований как ключ к расшифровке этнической специфики деревянного зодчества Карелии // «Свое» и «чужое» в культуре народов Европейского Севера. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2001. С. 12–14.

7. Орфинский В. П., Гришина И. Е. Простейшие деревянные постройки как источник для изучения крестьянского жилища // Народное зодчество: Сб. науч. тр. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1992. С. 19–31.
8. Орфинский В. П., Гришина И. Е. Генезис дома-двора в крестьянском зодчестве Карелии // Архитектурное наследие. №. 44 / НИИТАГ РААСН. М.: Изд-во УРСС, 2001. С. 63–80.
9. Орфинский В. П., Гришина И. Е. Крестьянские поселения и постройки. Вепсы // Прибалтийско-финские народы России (Серия «Народы и культуры»). М.: Наука, 2003. С. 381–388.
10. Патрашкова Н. А. Архитектурно-планировочное решение этнолитературного музея (на примере деревни Хайколя) // Межкультурные взаимодействия в полиэтничном пространстве пограничного региона: Материалы междунар. науч. конф. / ИЯЛИ КарНЦ РАН. Петрозаводск, 10–12 октября 2005 г. Петрозаводск, 2005. С. 270–274.
11. Русская изба (Внутреннее пространство, убранство дома, мебель, утварь): Иллюстрированная энциклопедия / Авт.-сост.: Д. А. Баранов, О. Г. Баранова, Е. Д. Мадлевская и др. СПб.: Искусство – СПб, 2004. 376 с.
12. Строгальщикова З. И. Традиционное жилище Межозерья. 1900–1960. Опыт сравнительно-статистического анализа. Л.: Наука, 1986. 108 с.
13. Тароева Р. Ф. Материальная культура карел (Карельская АССР). Этнографический очерк. М.; Л.: Наука, 1965. 223 с.
14. Харузин Н. Н. Очерки развития жилища у финнов: Этнографическое обозрение. М., 1895.
15. Blomstedt Y., Sucksdorff V. Karelska Byggnader och ornamentala Former. Helsingfors, 1900.
16. Blomstedt Y., Sucksdorff V. Karelische Gebaunde und ornamentale Formen aus Zentral-Russisch-Karelien. T. 1. Helsingfors, 1902.
17. Inha I. K. Kalevalan laulumailta (ilmestyi 1911 ja toinen uudistettu painos 1921). Helsinki, 1999.
18. Kaukonen V. Kansanrunon Kauko-Karjalaa ja Kalevalan synty. Porvoo, 1984. 240 с.

УДК 72.03(470):691.11

ПАВЕЛ ПЕТРОВИЧ МЕДВЕДЕВ

кандидат архитектуры, доцент, заведующий кафедрой систем автоматизированного проектирования строительного факультета ПетрГУ

*pmedvedev@psu.karelia.ru***ЕЛИЗАВЕТА ПАВЛОВНА МЕДВЕДЕВА**

студентка 3 курса строительного факультета ПетрГУ

*iwantrevenge@mail.ru***МОРФОЛОГИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
РАССЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОГО СЕВЕРА**

Статья посвящена исследованию морфологии объекта высшего иерархического уровня в структуре комплекса традиционных архитектурно-пространственных систем и объектов отечественного народного зодчества – региональной системы расселения Российского Севера, территориально охватывающего земли двух республик и пяти областей Северо-Запада Российской Федерации.

Ключевые слова: Российский Север, морфология, традиционные архитектурно-пространственные системы и объекты, народное зодчество

Российский Север или Русский Север – огромная историко-культурная область, расположенная на севере Европейской части России и окончательно сложившаяся в XIV–XVI веках, в период массового расселения русских на север и северо-восток. На западе эта область простирается до границы между Россией, Финляндией и Норвегией. На севере и востоке она отчетливо ограничена природными рубежами (рис.1).

Южной границей Российского Севера в исторической литературе принято считать линию, у которой в VIII веке остановилось массовое «стихийное» расселение славян и славяно-балтов (словене – в Приильменье, кривичи – на Верхней Волге), находившихся на поздней стадии развития первобытного общества. В VIII–IX веках эта линия совпадала с южной кромкой сплошной тайги, поскольку природная зональность в те времена была важным фактором, определявшим тип хозяйства, а через это отчасти и этнический состав населения. Она проходила от устья реки Невы (Санкт-Петербург) к месту слияния рек Мологи и Волги (между современными



Рис. 1. Картограмма территории Российского Севера

городами Череповец и Рыбинск). Далее она шла по левому берегу Волги (по линии Рыбинск – Нижний Новгород – Казань) и отсюда прямо на восток до Урала по 57-му градусу северной широты [5; 10, 20–26], [28; 44].

К югу от этой границы остаются северные островки черноземов в Прикамье, серые почвы Суздальского ополья и дерново-карбонатные почвы Ижорской возвышенности, служившие в X–XII веках базой для развития пашенного земледелия, навыки и орудия которого были принесены в VIII–IX веках в лесную зону переселенцами с юга и запада. Освоение тайги и северных приморских территорий, по мнению археологов и историков, могло совершаться лишь с опорой на новые государственные структуры, которые начали складываться у северных славян только в середине VIII–IX веках [1], [28; 44].

Во многих литературных источниках описанную территорию нередко именуют еще и «Северной Русью», но историко-географические понятия «Российский Север» и «Северная Русь» отнюдь не тождественны. В частности, под Северной Русью (для периода середины VIII – IX веков) многими исследователями подразумевается северная часть основной территории Древнерусского государства, ограниченная на карте линией, соединяющей южные побережья Белого и Ладожского озер, Невы и Финского залива, проходящей по Нарве, через Чудское озеро и по западной окраине бассейна реки Великой, затем на восток до Белоозера.

Эта область, лежащая на водных путях из Балтики на Дон и Волгу, в IX веке объединяется в пределах севернорусского протогосударства, а с конца IX века входит в состав Русского государства с центром в Киеве. В X – середине XII века здесь слагаются два субгосударства – Новгородская земля и Ростовская земля (позднее – Владимиро-Суздальское княжество). С середины XII века князья и население этих земель проводят интенсивное освоение и заселение Северо-Востока Европы, который в XV–XVI веках окончательно включается в состав Русского централизованного государства и таким образом получает уже все основания именоваться «Русским Севером» или «Российским Севером» [27].

Следует также упомянуть и о том, что в настоящее время под термином «Российский Север» нередко подразумевается территория Северо-Западного (в некоторых более поздних источниках – Северного) экономического региона России, который охватывает земли Мурманской, Архангельской, Вологодской, Ленинградской, Новгородской областей, а также Республики Карелия и Коми [51], [52].

По географическому положению Российский Север занимает территорию между 57-м и 77-м градусом северной широты и 30-м и 80-м градусом восточной долготы (рис. 2). По природным условиям большая часть территории Российского Севера располагается в зоне тайги, а земли Мурманской области и Ненецкого автономного округа

– в зонах лесотундры и тундры. Климат этого историко-культурного региона достаточно суровый. Среднегодовые температуры колеблются около нуля градусов (например, в Петрозаводске – +2.0; Сортавале – +3.0; Кеми – +1.0; Архангельске – +0.4; Каргополе – +1.4; Мезени – -1.6; Сыктывкаре – +0.5) [12; 225], [50; 113].

В силу своего географического положения территория Российского Севера находится под переменным воздействием арктического воздуха и воздуха умеренных широт, что определяет изменчивость погодных условий. Средняя температура января колеблется от -9 градусов на западе до -18 на востоке региона. Лето сравнительно теплое. Средняя температура июля от +10 градусов на севере до +18 на юге. Годовая сумма осадков колеблется от 350 мм на севере до 600 мм на юге региона при количестве дней с осадками около 200. Осадки на территории региона выпадают в виде небольших продолжительных снегопадов зимой и длительных морозящих дождей осенью. Относительная влажность воздуха колеблется от 70–90 % летом и весной до 85–95 % зимой и осенью. И эта относительно высокая влажность во многом зависит от испарения с тающего снега, водоемов, болот и лесов в условиях продолжительной пасмурной погоды и невысоких температур. Зимой на территории Российского Севера образуется мощный снеговой покров толщиной до 60–70 см, причем снег выпадает 25 октября – 10 ноября и лежит до 25 апреля – 10 мая.

По ландшафтным условиям территория Российского Севера может быть разделена на три части: западную – озерную, восточную – речную и северную – приморскую. Наиболее крупные озера

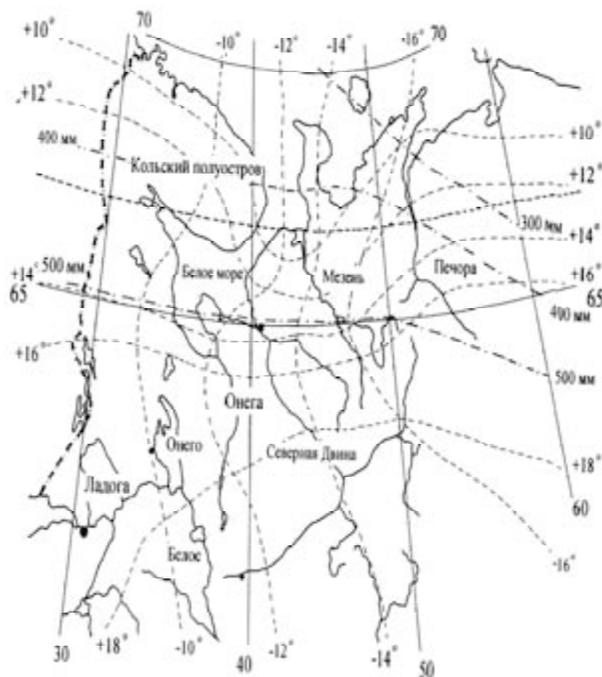


Рис. 2. Картограмма территории Российского Севера с природно-климатическим зонированием

западной части – Ладожское, Онежское, Ильмень, Белое, Выгозеро, Сегозеро, Куйто, Топозеро, Пляозеро, Ковдозеро и Имандра. Восточная часть региона покрывается бассейнами рек Шексны, Онеги, Северной Двины, Мезени и Печоры. Первая впадает в Онежское озеро, вторая, третья и четвертая – в Белое море, а пятая – в Северный Ледовитый океан. Наконец, специфика ландшафта северной части региона определяется топографией побережий Белого и Баренцева морей, а также Северного Ледовитого океана (рис. 2).

Заселение отдельных районов севера Европы (Скандинавии) произошло в позднеледниковое время, около 7–8 тысяч лет до н. э. Наиболее ранними памятниками этого времени на территории Российского Севера являются открытые археологами поселения, обнаруженные на Карельском перешейке (г. Каменногорск), на южном побережье Финского залива (около городов Кунды и Нарвы) и в западной части Вологодской области (на реке Ягорбе в городе Череповце). Эти памятники датируются VII–VI тысячелетием до н. э. [42; 7].

Пионерами в освоении Российского Севера были племена, проникшие предположительно в VI–III тысячелетиях до н. э. со стороны Западной Сибири и Урала. Одна часть пришедших племен освоила северо-восточное и северо-западное побережья Онежского озера, южную часть Карелии и земли в районе Белого озера. Другая часть племен продвинулась далее на запад и осела в Восточной Финляндии. В III–II тысячелетии до н. э. на земли, освоенные сибирско-уральскими племенами, проникли племена, пришедшие с юга, – с территории Волго-Окского бассейна.

На рубеже I–II тысячелетий н. э. Западное и Северное Приладожье оказалось заселенным племенем корела (рис. 3) [20], [24]. С юга, на Карельском перешейке, к представителям корелы примыкало племя ижора. Оно занимало бассейн реки Невы и было родственно кореле по происхождению. Западными соседями карел и ижоры были племена водь и емь, проживавшие соответственно к югу и северу от Финского залива. К северу от карел располагались саамы (лопь) – бродячие охотники и оленеводы, постепенно оттесняемые все далее на север [25], [45].

В свою очередь, Олонецкий перешеек между Ладожским и Онежским озерами, а также бассейн Белого озера и рек Шексны и Мологи заселяло племя веси [13], [44]. К северу и востоку от веси, за Онежским озером и далее в бассейнах рек Онеги и Северной Двины, жили финно-угорские племена, которые именовались «заволоцкой чудью» [4], [14], [17], [49]. На юге представители корелы, ижоры и веси соседствовали со славянскими племенами – ильменскими словенами и кривичами (рис. 3) [42; 42–43].

В период X–XII веков карелы постепенно расселились к северу, заняв весьма значительную территорию. На западе они вступили в соприкосновение с емью, заселившей центральную часть современной Финляндии. На севере они достигли бере-

гов Ботнического залива («приботническая корела») и вышли к Белому морю («беломорская корела»).

В XI–XIII веках на территорию Российского Севера началось проникновение славян. Сначала это были переселенцы из Новгородской земли, а позднее – из Верхнего Поволжья (с территорий Ростово-Суздальского и Московского княжеств) (рис. 4) [6], [21], [45], [56]. В процессе своего движения на север русское население освоило территорию Ленинградской области (Посвирье), восточную часть Карелии (Заонежье и Карельское Поморье), Терский берег Мурманской и почти всю территорию Архангельской области (рис. 4, 5). К середине XII века территория, освоенная славянами, и земли веси, ижоры и корелы вошли в состав русского централизованного государства под управлением Новгорода [8; 22–37].



Рис. 3. Картограмма территории Российского Севера с зонами этнокультурного заселения в XI–XIII веках



Рис. 4. Картограмма территории Российского Севера с путями движения славянских колонизационных потоков в XI–XV веках

К середине XII века на северо-западе восточной Европы сложилось резкое противостояние Новгорода и Швеции. Постоянные набеги шведских феодалов вынудили к середине XIII века значительные группы «корелы» переселиться на восток [11], [58]. В 1323 году положение стабилизировалось, и Ореховским мирным договором была установлена граница между Русью и Швецией. С этого момента начался процесс окончательного сложения карельского и финского народов. Первого – из племен корела и весь в рамках русского государства, второго – в составе Швеции из племен сумь, емь и двух западных групп корелы, поселившихся на месте позднейшего Выборга и у озера Сайма. Тогда же часть веси, не вошедшая в состав карельского народа, образовала самостоятельную народность – вепсов [8; 33–37], [13], [44].

Так как в 1323 году часть территории Карелии оказалась к западу от государственной границы, Ореховский мир вызвал новое массовое переселение. В это время представители корелы заселили территорию в южной и средней части современной Карелии от реки Суны до озера Сегозеро. Затем в XV веке новые военные походы шведов вызвали вторую волну миграции «корелы» на север к озеру Ондозеру и в южную часть бассейна реки Кеми [8; 37–39].

В XVI – начале XVII века Швеция захватила значительную часть территории Карелии, а после Столбовского мира 1617 года к ней отошла западная часть края. Политический и религиозный гнет шведских феодалов вызвал окончательный «исход» представителей корелы на русские земли. До середины XVII века в Верхнее Поволжье переселилось около 30 тысяч человек. Часть переселенцев осела в Заонежских погостах и в пределах современных Новгородской и Тверской областей [11], [18; 66–74], [57; 158–160]. К этому же времени относится третья волна миграции корелы на север, послужившая началом поселений ругозерских, ребольских и тунгудских карел. Последними в начале XVIII века покинули свою родину приботнийские карелы. Они поселились в северо-западной части современной Карелии. В процессе своего расселения карелы ассимилировали более древнее саамское население и частично вытеснили его на территорию Кольского полуострова [8; 41–44], [55; 212].

В 1478 году Российский Север стал составной частью Новгородской феодальной республики (рис. 5). В это время западная часть Российского Севера входила в состав двух пятин Новгородской земли. Земли, лежащие к западу от Ладожского озера (впоследствии – Корельский уезд), и область, лежащая к северу от Сямозера до бассейна реки Кеми (Лопские погосты), относились к территории Вотской пятины [38]. Территория между Ладожским и Онежским озерами и вокруг последнего (Заонежские погосты) и южная часть побережья Белого моря (Поморье) входили в состав Обонежской пяти-

ны. Карельское Поморье и Терский берег были частью Кольского уезда. Наконец, территории современной Архангельской и северной части Вологодской областей входили в состав Двинской и Вятской земель (рис. 5).

Указанные районы отличались друг от друга по этническому составу населения и по характеру экономического развития. В Корельском уезде и в Лопских погостах проживало почти сплошь карельское население. В Заонежских погостах, в южной и восточной их части, жило преимущественно русское население, в северной и западной – карельское, а на Олонецком перешейке обитали карелы и вепсы. В Карельском Поморье жили преимущественно русские, а также карелы и незначительное число саамов [20], [47], [55].

На северном берегу Белого моря осели представители саамских племен (лопарей), занимавшиеся охотой, рыболовством и оленеводством, а земли в низовьях рек Печоры и Мезени заселяли предки ненецкого народа – самоеды, вышедшие предположительно с территории Саянских гор или с верховьев речной системы Енисея. Наконец, таежные леса по берегам рек Печоры и Вычегды оказались во владении предков народа коми.

В силу специфики природно-климатических и ландшафтно-топографических условий Корельский уезд и Заонежские погосты (особенно южная их часть), а также южные уезды Двинской и Вятской земель имели наиболее благоприятные условия для сельского хозяйства. Земледелием занималось и население Лопских погостов, несмотря на их близость к полярному кругу, а Поморье, естественно, представляло собой промысловый район, где основными занятиями населения являлись морское и речное рыболовство, охота на морского зверя и выварка соли [7].



Рис. 5. Картограмма территории Российского Севера с границами административно-территориального деления в конце XV века

Как известно из исследований историков, в период XIV–XV веков основная масса населения Российского Севера проживала в деревнях, которые, как правило, располагались по берегам рек и озер на расстоянии от 50 до 100 верст друг от друга. Размеры этих поселений, а также число их жителей в различных районах Российского Севера были неодинаковы [15].

В районах с преобладанием земледелия – в Заонежских погостах и в южной части Корельского уезда – в конце XV века подавляющее большинство деревень состояло из одного-двух дворов. Так, в Шунгском погосте (восточная часть Карелии) в 1496 году деревни из одного двора составляли 89 %, из двух дворов – 10 % и более двух дворов – лишь 1 %. Небольшие размеры участков, пригодных для земледелия, а также возможность вести хозяйство силами одной семьи были основными причинами, определявшими небольшие размеры деревень.

В то же время в промысловых районах (в Поморье, на севере Корельского уезда, а также отчасти в Лопских погостах) деревни имели 5–10 дворов, а иногда по 20 и более крестьянских подворий. В 1500 году здесь было 3 деревни, в каждой из которых насчитывалось больше 50 дворов. Следует отметить, что в это время в Поморье в среднем на одну деревню приходилось 3–4 двора, а в Лопских погостах населенные пункты были расположены группами, ныне нередко именуемыми «гнездами деревень» или «поселенческими кластерами» [35]. Сравнительно большие размеры деревень в этих районах определялись потребностями промыслов. Солеварение, рыболовство и добыча морского зверя требовали известной кооперации, ими невозможно было заниматься силами одного хозяйства [30], [31].

Но, несмотря на высокие темпы хозяйственного освоения северных территорий, система расселения в это время была представлена главным образом сельскими поселениями. В конце XV и в XVI веке в Карелии был лишь один город – Корела с приданным к нему Сванским Волочком. В 1500 году в Кореле имелось 188 дворов, а в Сванском Волочке – 55 подворий [42; 80].

В конце первой четверти XVII века на территории Российского Севера насчитывалось 22226 жилых и 6210 запустевших поселений. Предполагив, что последние в XVI веке были жилыми, можно считать, что в этом столетии на Европейском Севере России существовало около 29 тысяч поселений. Так, по данным историка П. А. Колесникова, на этот период времени в Центральном Поморье (Вологодский, Тотемский, Устюжский, Сольвычегодский, Двинский, Важский, Турчасовский уезды и Устьянские волости) средний размер поселений составлял 3,8 двора; в Северо-Западном Поморье (Каргопольский, Кольский, Чаронда и Заонежские погосты) – 3,8; в Северо-Восточном Поморье (Кеврольский, Мезенский, Яренский и Пустозерский уезды) – 4,5; в Вятской земле (Хлыновский, Орловский, Котельнический, Слободский

и Шестаковский уезды) – 2,3, а в приуральских уездах (Чардынский и Соликамский уезды) – 7,2 двора [22; 78–81], [23; 67–68].

По сведениям историков, к концу XVII века число поселений на Российском Севере увеличилось на 10 % и достигло 23689 населенных пунктов. Вместе с тем возросла и их дворность. Так, в Центральном Поморье на одно поселение уже приходилось 5,1 двора, в Северо-Западном – 5,6 двора, в Северо-Восточном – 5 дворов, в вятских уездах – 3 двора, а в приуральских уездах – 9,1 двора [22; 95–99], [23; 69–70].

В первой половине XVIII века, помимо Новгорода, Вологды и Санкт-Петербурга, на территории Российского Севера в Карелии существовало только два города – Олонец, основанный русскими в 1649 году в связи с укреплением русско-шведской границы, и Сердоболь (Сортавала), основанный шведами в 1617 году на месте русского погоста [9], [10]. В конце 1970-х годов Олонец (со слободами) насчитывал уже более 700 дворов и играл видную роль как во внутренней, так и во внешней торговле. Торговые пути вели из Олонца к Тихвину и через территорию Северного Приладожья в Швецию [42; 132].

Следует также отметить, что еще в середине XVI века на Кольском полуострове возникло рыбацкое селение Кола, основанное выходцами из Кандалакши и положившее начало средневековому городу. В 1582 году Кола стала административным центром Кольского уезда и имела в это время 71 двор и более 400 жителей. В то же время административным центром Двинской земли до второй половины XVI века являлось село Холмогоры, а в 1584 году в устье Северной Двины воеводами Нащекиным и Волоховым был основан город Архангельск, ставший после 1707 года центром огромной Архангельской губернии [48; 5].

Наконец, в начале XVIII века царем Петром I было введено административное деление территории Российской империи на губернии. В итоге земли Российского Севера оказались разделенными между Олонецкой, Архангельской, Вологодской, Новгородской и Санкт-Петербургской губерниями, причем этнический состав населения был весьма разнообразен.

Так, по сведениям 1802 года, на территории Российского Севера обитали русские, карелы и вепсы (в Олонецкой и Новгородской губерниях), саамы (на территории Олонецкой губернии и в Кемском округе Архангельской губернии), а также зыряне и самоеды (в Мезенском округе Архангельской губернии). Причем только на территории Архангельской губернии в это время уже проживало 185575 человек и существовало 7 городов: Холмогоры, Шенкурск, Пинега, Мезень, Онега, Кемь и Кола со своими уездами [3], [19], [39], [40]. Кроме того, помимо городов в губернии насчитывалось 3 посада, 280 волостей, 3633 села и деревни, 437 церквей и 10 монастырей, 44 соляных варницы и 114 мелких частных заводов, 5 верфей, 9 лесопильных, 321 мучная и 1050 ветряных мель-

ниц, а также 1596 мостов. В Архангельске в это время проживало уже 13102 человека [48; 5–31].

Однако до середины XIX века данные о народонаселении Российского Севера были очень отрывочными. Только после создания в 1857 году Центрального статистического комитета при Министерстве внутренних дел они начали собираться и обрабатываться относительно регулярно. В частности, по сведениям этого комитета, в границах Архангельской, Вологодской и Олонецкой губерний в 1847 году насчитывалось уже более 18 городов, а в пределах Олонецкой и Архангельской губерний наиболее крупными из них были Архангельск, Петрозаводск, Каргополь, Вытегра, Кемь и Онега [2], [41; 37], [54; 2–19]. В свою очередь, по сведениям на 1861 год, наиболее населенной была Вологодская губерния, а наименее населенной – Олонецкая. Причем в Вологодской губернии городское население составляло 20,40 %, в Олонецкой губернии – 15,80 %, а в Архангельской – 7,70 %, при среднем значении по 50 губерниям Российской империи 11,07 %.

Основными путями сообщения на территории Архангельской губернии служили 5 почтовых трактов: Петербургский, Московский, Мезенский, Кемский и Кемско-Соловецкий (от Кемь до Соловецкого монастыря летом по морю). В дополнение к почтовым трактам функционировало еще 8 проселочно-торговых дорог: Пинежско-Вологодская, Важско-Устюжская, Онежско-Дениславская, Биричевско-Плесецкая, зимняя Малошуйско-Шунгская, Сумпосадско-Повенецкая, Кемско-Кольская и Мезенско-Печерская. По-прежнему сохраняли свое важное торговое значение старинные водные пути по рекам Онеге, Ваге, Северной Двине, Пинеге, Мезени и Печере. В это же время на территории Карелии функцию транспортных магистралей выполняли: Онежское и Ладожское озера, Выгозеро, а также реки Свирь, Водла, Выг и Кемь. В свою очередь, сухопутными торгово-транспортными артериями являлись: почтовый тракт Лодейное Поле – Петрозаводск – Повенец и проселочные дороги Кемь – Каяны и Олонец – Панозеро (рис. 6) [16], [26; 65–81], [46; 286–287].

Наиболее полным и достоверным источником сведений о населении Российского Севера во второй половине XIX века является демографическая перепись 1897 года. Она охватила всю территорию Российской империи, кроме Великого княжества Финляндского. В числе 50 губерний Европейской России было переписано население Олонецкой и Архангельской губерний, из которых впоследствии были образованы Республика Карелия, Архангельская и Мурманская области [53].

По данным переписи 1897 года, во всей Олонецкой губернии насчитывалось лишь 364,2 тысячи жителей. Городское население составляло только 25,5 тысячи человек, или 7 %. Причем из 50 губерний Европейской России Олонецкая и Архангельская губернии были самыми малонаселенными. Так, при средней плотности 22,2 человека на 1 квадратную версту плотность населения Оло-

нецкой губернии на 1897 год составляла 3,2 человека, а Архангельской – 0,5. В то же время в пределах Олонецкой губернии плотность населения колебалась от 0,7 (Повенецкий уезд) до 5,9 человека (Петрозаводский уезд) на 1 квадратную версту, а в Кемском уезде Архангельской губернии она составляла не более 1 человека [47; 10–11].

В 1897 году на территории Олонецкой губернии существовало только 7 городов – Петрозаводск, Олонец, Повенец, Пудож, Вытегра, Каргополь и Лодейное Поле. Это были небольшие провинциальные города, стягивавшие ничтожно малую часть населения Карелии. При средней по губернии доле городского населения, равной 7 %, в Олонецком, Лодейнополюском и Каргопольском уездах она составляла 3,1–3,7 %, в Пудожском и Повенецком – 4,3–4,9 %, в Вытегорском – 8 % и в Петрозаводском – 15,7 % (рис. 7) [47; 11].



Рис. 6. Картограмма территории Российского Севера с основными торгово-транспортными путями в конце XIX – начале XX века



Рис. 7. Картограмма территорий Олонецкой и Архангельской губерний с границами административно-территориального деления в конце XIX – начале XX века

На 1862 год в перечисленных городах имелось всего 63 каменных жилых дома, причем более половины из них значилось в губернском городе Петрозаводске, а в Олонце, Повенце и Пудоже насчитывалось только по одному каменному жилому дому. При этом больше 97 % жилых зданий в городах Олонецкой губернии составляли деревянные дома [43; 28–29].

Как и в Архангельской губернии, города Карелии были очень малолюдными. В Петрозаводске в 1897 году насчитывалось только 12,5 тысячи жителей, тогда как в остальных городах численность населения колебалась от 1,2 тысячи человек (Олонец) до 4,5 тысячи (Вытегра). К примеру, в это же время в городе Кеми Архангельской губернии проживало 2,4 тысячи человек. Причем население городов росло медленно из-за слабого развития промышленности и сравнительно небольшого притока людей из центральных районов России. Так, за период с 1866 по 1897 год численность населения Петрозаводска увеличилась всего лишь на 1,3 тысячи человек, или на 11,7 %.

Перепись 1897 года зафиксировала на территории Олонецкой губернии 5 тысяч сельских населенных пунктов, главным образом деревень с населением 338,6 тысячи человек. В среднем на одно сельское поселение приходилось только 68 жителей. Преобладали мелкие поселения – до 20 домов в каждом. При этом четверть всех поселений состояла из 1–5 домов и примерно столько же – из 6–10. Крупные населенные пункты, в которых имелось более 100 домов и свыше 500 человек, были единичными. Все поселения были разбросаны на огромном пространстве в 114,9 тысячи квадратных верст. Таким образом, в среднем на каждые 100 квадратных верст приходилось всего лишь 4 населенных пункта.

Размещение сельских поселений по территории Олонецкой губернии было крайне неравномерным. В южных, сравнительно небольших по площади уездах концентрировалась большая часть поселений. Густота сети населенных пунктов в этой части Карелии вдвое превышала средний показатель по губернии. С удалением на север поселения становились все более редкими. Так, в Повенецком уезде на каждые 100 квадратных верст их было в 3,5 раза меньше, чем в среднем по губернии, и в 6–7 раз меньше, чем в Лодейнопольском, Вытегорском и Олонецком уездах. Территорию Олонецкой губернии в это время населяли русские (78,2 %), карелы (16,3 %), вепсы (4,4 %) и финны (0,7 %).

В конце XIX века во всей Олонецкой губернии действовало только одно крупное предприятие – Александровский снарядолитейный завод в Петрозаводске, на котором работало около тысячи человек. Кроме него в Олонецком крае существовало 11–12 небольших лесопильных заводов, а также мелкие чугуноплавильные, кожевенные, мукомольные, кирпичные и другие предприятия [42; 280–286].

Долгое время одним из серьезных препятствий в развитии производительных сил края являлось отсутствие железнодорожного сообщения с другими районами страны. Первая железная дорога (Мурманская, ныне Октябрьская) была построена только к 1917 году, тогда как железнодорожные ветки Петрозаводск – Выборг и Суоярви – Юшкозеро появились только после 1945 года (рис. 8). Третья часть селений Олонецкой губернии совсем не имела дорог, причем число бездорожных селений резко возрастало с юга на север. В свою очередь, по территориям Вологодской и Архангельской губерний проходили: Северная железная дорога (Архангельск – Вологда – Петербург), построенная в 1897–1906 годах, дорога Вятка (Киров) – Котлас – в 1899-м, Вологда – Вятка (Киров) – в 1906-м, Котлас – Коноша – в 1938–1940-м, Беломорск – Обозерская – в 1940–1941-м и Котлас – Воркута – в 1940–1942 годах (рис. 8) [12; 247–248].

Границы современного административно-территориального деления Российского Севера сформировались в основном в период 1959–1970 годов. К примеру, на территории Республики Карелия в настоящее время насчитывается 15 административных районов (рис. 9), крупнейшими из которых по численности населения являются Сегежский, Медвежьегорский и Кондопожский. По переписи 1970 года, в них проживало 151,6 тысячи человек, или 21,3 % всего населения Карелии. В подавляющем большинстве районов (в 10 из 15) численность населения колебалась в пределах от 20 до 40 тысяч человек в каждом. Почти третья часть жителей республики (на 1970 год – 227 тысяч, или 31,9 %) сконцентрировалась на территории, подчиненной Петрозаводскому и Сортавальскому горсоветам.

Для Республики Карелия, как и для многих других районов Российского Севера, в XX веке был характерен быстрый рост городского населения.



Рис. 8. Картограмма железных дорог на территории Российского Севера в начале – второй половине XX века



Рис. 9. Картограмма административно-территориального деления Республики Карелия на период во второй половине XX века

За период с 1939 по 1977 год оно увеличилось в 3,8 раза при росте всего населения республики только в 1,6 раза. В 1971 году численность городского населения в Карелии достигла полумиллионного рубежа, а к началу 1977 года составляла уже 566,7 тысячи человек. Примечательно, что рост городского населения в Карелии по своим темпам значительно опережал общероссийские показатели, что свидетельствует о высоком уровне индустриализации и урбанизации республики.

Бурное развитие промышленности в послевоенный период оказало влияние на соотношение между численностью городского и сельского населения Карелии. Так, к началу 1977 года удельный вес городских жителей составлял уже 76,80 % против 32,10 % в 1939 году и 62,90 % в 1959 году. В итоге к концу XX века городское население республики стало резко преобладать над сельским населением. Причем среди областей и республик Российского Севера Карелия в это время по удельному весу городского населе-

ния занимает второе место, уступая лишь Мурманской области.

В пределах Республики Карелия наиболее высокий удельный вес городского населения на это период времени отмечался в Питкярантском, Сегежском, Кемском, Беломорском и Кондопожском районах, а наиболее низкий – в Муезерском, Пряжинском, Пудожском и Олонецком. Основными источниками роста городского населения в послевоенный период являлись: переход значительной части сельских жителей в города и рабочие поселки для работы в промышленности, строительстве и на транспорте; приток населения из других районов страны; преобразование многих сельских населенных пунктов в поселки городского типа в связи с их промышленным развитием; естественный прирост городского населения.

В 1977 году в Карелии насчитывалось 56 городских поселений, из них 12 городов и 44 поселка городского типа. Все города Карелии, за исключением Петрозаводска, относятся к категории малых городов с населением от 9 до 36 тысяч человек в каждом. Причем большая часть городских поселений оказалась сконцентрированной вдоль линии Октябрьской железной дороги и в Приладожье.

Старейшими городами Карелии к этому времени уже являлись Олонец (1648 г.), Петрозаводск (1703 г.), Сортавала (1783 г.), Кемь и Пудож (1785 г.). Накануне и в период войны 1941–1945 годов права городов получили: Кондопога, Беломорск, Медвежьегорск (1938 г.), Суоярви, Питкяранта (1940 г.), Сегежа (1943 г.) и Лахденпохья (1945 г.). Из 44 ныне существующих рабочих поселков городского типа 5 образовано до войны, 6 – в период войны и 33 – в послевоенное время [47; 136]. Основой для возникновения большинства из них послужило развитие лесозаготовительной, лесохимической, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной, металлургической, горной и судоремонтной промышленности.

По переписи 1970 года, около четверти населения Карелии проживало в сельской местности (рис. 10). В это время в республике насчитывалось 1069 сельских населенных пунктов. По сравнению с 1961 годом их число уменьшилось более чем на одну треть, а по сравнению с 1939 годом – более чем в 3 раза. Вместе с тем средний размер сельского поселения неуклонно возрастал и сохранял тенденцию к дальнейшему увеличению. Так, если по переписи 1939 года, в среднем на одно сельское поселение Карелии приходилось 107 жителей, то в 1970 году – 209. Более половины (59,80 %) сельских населенных пунктов Карелии в это время составляют сравнительно мелкие поселения с числом жителей до 100 человек, тогда как на долю крупных поселений (свыше 1 тысячи жителей) приходится только 4,70 % [47; 138].

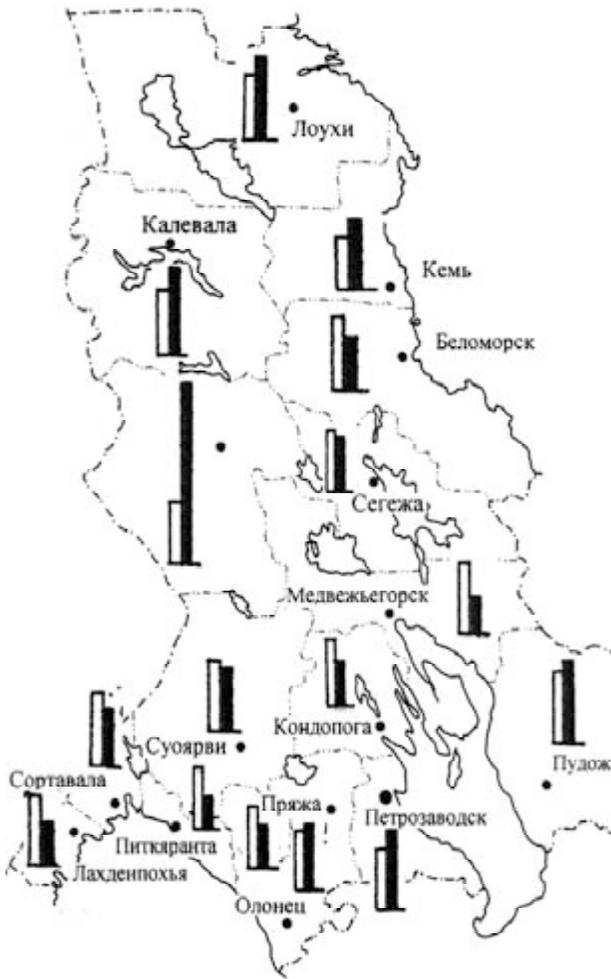


Рис. 10. Картограмма распределения городского и сельского населения по территории Республики Карелия во второй половине XX века

Резюмируя вышеизложенное, можно сказать, что на территории Российского Севера за период XI–XX веков произошла последовательная смена систем расселения двух классов – с сельским и смешанным (сельско-городским) населением. При средней плотности населения по Северо-Западному экономическому району (5 областей и 2 республики) на 1970 год в 7,01 чел./кв. км, наиболее плотнозаселенными были Ленинградская (62,69 чел./кв. км), Новгородская (13,05 чел./кв. км) и Вологодская (8,79 чел./кв. км) области. Промежуточное положение занимали Республика Карелия (4,14 чел./кв. км) и Мурманская область (5,52 чел./кв. км). Слабозаселенными по-прежнему были Архангельская область (2,39 чел./кв. км) и Республика Коми (2,32 чел./кв. км).

Необходимо также отметить, что за период XI–XX веков наблюдалась последовательная смена систем расселения трех подклассов: с погостной, комбинированной и поселково-сельской структурами. Составными элементами системы первого подкласса были погосты и ма-

лодворные деревни. В комбинированной системе они сочетались с селами, посадками и многодворными деревнями. В системе третьего подкласса структурными элементами являются поселки, села и многодворные деревни. Переход к комбинированной системе произошел примерно в конце XVII – начале XVIII века, а к поселково-сельской – на рубеже XIX–XX веков.

Территориальное распределение населенных пунктов в целом по Российскому Северу можно охарактеризовать как дисперсно-концентрированное. Практически на всей территории наблюдается сочетание групповых систем населенных пунктов (в виде «пятен-сгущений» или поселенческих кластеров) с автономными поселениями. По рисунку поселенческой ткани отдельные субрегиональные системы представлены в трех вариантах – линейно-полосовые, ядерно-центричные и равномерно-распределенные («ковровые»). По взаимосвязи с ландшафтом большая часть субрегиональных расселенческих систем является приводом (расположенной вблизи водоемов) с рисунком поселенческой ткани, почти полностью отвечающим рисунку ландшафта [29], [32], [33], [34], [35], [36], [37].

Исследования последних лет показывают, что на территории Российского Севера наблюдается процесс оттока населения, а также снижение уровня его естественного прироста, недостаточное развитие горной и сокращение объемов лесозаготовительной промышленности, а также резкий спад объемов сельскохозяйственного производства. Перечисленные проблемы накладываются на не менее сложные проблемы охраны окружающей среды и сохранения отечественных и общемировых культурных ценностей, а также национальных традиций по организации жизненной среды обитания в условиях Российского Севера. Это требует от специалистов различных научных областей – районных планировщиков, градостроителей, архитекторов, инженеров, экологов, историков, географов и экономистов – разработки комплексных региональных программ исследования и развития отдельных областей и районов Российского Севера с применением всех современных научных методов и компьютерных технологий.

Работа выполнена при поддержке Российского гуманитарного научного фонда (грант РГНФ, 2007–2008 гг., № 07-04-12127в, «Создание многоцелевой образно-графической и текстовой базы данных по памятникам народной архитектуры Западного Поважья для сети Интернет» и грант РГНФ, 2008–2009 гг., № 08-04-42404а/С, «Исследование морфологии традиционных расселенческо-поселенческих образований Русского Севера в период 19–20 веков (широтномериональные разрезы)»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аграрная история Северо-Запада России XVI в.: Север. Псков. Общие итоги развития Северо-Запада / АН СССР. Ин-т истории СССР, Ленингр. отд-ние; Ленингр. гос. ун-т им. А. А. Жданова; рук. авт. коллектива А. Л. Шапиро. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1978. 220 с.
2. Алферова Г. В. Каргополь и Каргополье / Центр. науч.-исслед. ин-т теории и истории архитектуры. М.: Стройиздат, 1973. 190 с.
3. Баркина В. С. Кемь. 3-е изд., испр. и доп. Петрозаводск: Карелия, 1982. 135 с. (Города и районы Карелии)
4. Бернштам Т. А. Локальные группы Двинско-Важского ареала: Духовные факторы в этно- и социокультурных процессах // Русский Север: К проблеме локальных групп / РАН, Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого (Кунсткамера), РФФИ. СПб.: МАЭ РАН, 1995. С. 208–318.
5. Бернштам Т. А. Поморы. Формирование группы и системы хозяйства. Л.: Наука, 1978. 176 с.
6. Бернштам Т. А. Роль верхневолжской колонизации в освоении Русского Севера // Фольклор и этнография Русского Севера. Л.: Наука, 1973. С. 5–28.
7. Бернштам Т. А. Русская народная культура Поморья в XIX – начале XX в.: Этнографические очерки. Л.: Наука, 1983. 232 с.
8. Бубрих Д. В. Происхождение карельского народа: Повесть о союзнике и друге русского народа на Севере. Петрозаводск: Гос. изд-во Карело-Финской ССР, 1947. 50 с.
9. Васильев А. И. Олонек. 2-е изд., испр. и доп. Петрозаводск: Карелия, 1984. 151 с.
10. Власов П. Н., Стафеев Б. Н. Сортавала. Петрозаводск: Карелия, 1978. 109 с.
11. Гадзяцкий С. Карелы и Карелия в новгородское время. Петрозаводск: Каргосиздат, 1941. 196 с.
12. Гарф А. Л., Покшишевский В. В. Север. М.: Изд-во ЦК ВЛКСМ «Молодая гвардия», 1948. 264 с.
13. Голубева Л. А. Весь и славяне на Белом озере: X–XIII вв. М.: Наука, 1973. 212 с.
14. Голубева Л. А. Чудь заволочская // Финно-угры и балты в эпоху Средневековья. Археология СССР. М., 1987. С. 64–66.
15. Дектярев А. Я. Русская деревня в XV–XVII веках: Очерки истории сельского расселения. Л.: Изд-во ЛГУ, 1980. 176 с.
16. Едемский М. Б. О старых торговых путях на Севере // Записки Отделения русской и славянской археологии Русского археологического общества. Т. II. Пг., 1915. С. 240–244.
17. Ефименко П. Е. Заволочская Чудь. Архангельск: Губернская тип., 1869. 131 с.
18. Жербин А. С. Переселение карел в Россию в XVII веке. Петрозаводск: Госиздат КФССР, 1956. 114 с.
19. Калинин Г. Д. Онега. Архангельск; Вологда: Сев.-Зап. кн. изд-во. Волог. отд-ние, 1980. 126 с.
20. Карелы Карельской АССР / Ин-т яз., лит-ры и истории Карел. филиала АН СССР. Петрозаводск: Карелия, 1983. 288 с.
21. Кизеветтер А. А. Русский Север. Роль северного края Европейской России в истории Русского государства. Исторический очерк. Вологда: Тип. Союза северных кооперативных союзов, 1919. 66 с.
22. Колесников П. А. Северная деревня в XV – первой половине XIX века (К вопросу об эволюции аграрных отношений в Русском государстве) / Вологод. пед. ин-т. Вологда: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1976. 416 с.
23. Копанев А. И. Крестьяне Русского Севера в XVII в. / Под ред. Н. Е. Носова. Л.: Наука, 1984. 244 с.
24. Кочуркина С. И. Древняя Корела. Л.: Наука, 1982. 216 с.
25. Матвеев А. К. Древнее саамское население на территории Севера Восточно-Европейской равнины // К истории малых народностей Европейского Севера СССР. Петрозаводск, 1979. С. 5–14.
26. Материалы для географии и статистики России, собранные офицерами генерального штаба. Архангельская губерния. Составил генерального штаба капитан Н. Козлов. СПб.: Тип. Э. Веймара, 1865. 342 с.
27. Мачинский Д. А. О месте Северной Руси в процессе сложения Древнерусского государства и Европейской культурной общности // Археологическое исследование Новгородской земли. Л., 1984. С. 5–25.
28. Мачинский Д. А., Мачинская А. Д. Северная Русь, Русский Север и Старая Ладога в VIII–IX вв. // Культура Русского Севера. Л., 1988. С. 44–58.
29. Медведев П. П. К вопросу о классификации систем расселения на примере Беломорского Поморья // Проблемы исследования, реставрации и использования архитектурного наследия Русского Севера: Межвуз. сб. Петрозаводск, 1988. С. 14–28.
30. Медведев П. П. Некоторые особенности объемно-планировочных структур сельских поселений Беломорского Поморья // Архитектурное наследие и реставрация памятников истории и культуры России: Сб. науч. тр. М., 1986. С. 157–171.
31. Медведев П. П. Принципы и приемы архитектурно-пространственной организации жилой среды сельских поселений Беломорского Поморья // Архитектурное наследие и реставрация памятников истории и культуры России: Сб. науч. тр. М., 1988. С. 145–163.
32. Медведев П. П. Система расселения Восточного Обонежья (ареальные исследования народного зодчества на территории Республики Карелия). Петрозаводск: Петрозаводский гос. ун-т, 2000. 81 с. Деп. в ВНИИТПИ 17.06.00, № 17778.
33. Медведев П. П. Система расселения и объемно-планировочные структуры сельских поселений в бассейне реки Онеги (опыт ареального исследования) // Проблемы исследования, реставрации и использования архитектурного наследия Русского Севера: Межвуз. сб. Петрозаводск, 1989. С. 67–84.
34. Медведев П. П. Система расселения Поважья (ареальные исследования Архангельской области) // Труды Петрозаводского государственного университета. Межвуз. сб. Сер. «Строительство». Вып. 6. «Новые технологии в строительстве». Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1999. С. 19–23.
35. Медведев П. П., Гашков И. И. Исследование групповых систем населенных мест Российского Севера // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2008. № 1. Сер. «Естественные и технические науки». Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2008. С. 23–30.
36. Медведев П. П., Козлова Т. Д. Историко-архитектурное наследие Приморья (к морфологии традиционных архитектурно-пространственных систем и объектов Российского Севера) // Труды Петрозаводского государственного университета. Межвуз. сб. Сер. «Строительство». Вып. 6. «Новые технологии в строительстве». Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1999. С. 24–28.
37. Медведев П. П., Реут О. Ч. Исследование субрегиональной системы расселения: историко-архитектурный подход // Историческая география: тенденции и перспективы. Сб. науч. тр. СПб.: Изд-во РГО, 1995. С. 177–184.

38. Неволин К. А. О пятинах и погостах новгородских в XVI веке, с приложением карты // Записки императорского географического общества. Кн. VIII. СПб., 1853. 650 с.
39. Овсянников О. В. Шенкурск. Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1978. 105 с.
40. Описание Архангельской губернии. Ея городов и достопримечательных мест со многими древними историческими известиями и замечаниями, к дополнению Российской истории служащими, из разных рукописных и печатных книг монастырских церковных архивов, из достоверных словесных преданий и других несомнительных источников, с приобщением Архангельской Губернии карты, плана и вида города Архангельска, собранное в Архангельске С. Козмою Молчановым и изданное Главным управлением училищ. СПб.: При Императорской академии наук, 1863 года. 280 с.
41. Описание Российской Империи в историческом, географическом и статистическом отношениях. Посвященное имени его императорского высочества, государя наследника цесаревича, великого князя Александра Николаевича. Т. 1. Кн. 2. Архангельская губерния. СПб.: без изд-ва, 1845. 149 с.
42. Очерки истории Карелии. Т. 1. / Под ред. д. и. н. В. Н. Бернадского, И. И. Смирнова, к. и. н. Я. А. Балагурова. Петрозаводск: Госиздат КАССР, 1957. 430 с.
43. Памятная книжка Олонецкой губернии на 1864 год. Петрозаводск, 1864.
44. Пименов В. В. Вепсы: Очерк этнической истории и генезиса культуры. М.; Л.: Наука, 1965. 264 с.
45. Платонов С. Прошлое русского Севера: Очерки по истории колонизации Поморья. Пг.: Время, 1923. 80 с.
46. Плечко Л. А. Старинные водные пути. М.: Физкультура и спорт, 1985. 104 с.
47. Покровская И. П. Население Карелии. Петрозаводск: Карелия, 1978. 192 с.
48. Пошман А. Архангельская губерния в хозяйственном, коммерческом, философском, историческом и нравственном обозрении, с полезными на все оныя части заключениями. Сочинение Антона фон Пошмана (составленное в 1802 г.). Т. 1. Архангельск: Губернская типография, 1873. 195 с.
49. Рябинин Е. А. Финно-угорские племена в составе Древней Руси: К истории славяно-финских этнокультурных связей: Историко-археологические очерки. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1997. 260 с.
50. Север / Е. К. Гринева, А. О. Кеммерих, Л. В. Руф, О. К. Славинский и др. М.: Физкультура и спорт, 1975. 264 с.
51. Северный экономический район: Проблемы, тенденции, перспективы развития. СПб.: Наука, 1992. 265 с.
52. Северо-Западный экономический район. М.: Наука, 1967. 302 с.
53. Списки населенных мест Российской империи. Т. 1. Архангельская губерния. Список населенных мест по сведениям 1859 года. СПб.: Тип. МВД, 1861. 131 с.
54. Статистические таблицы о состоянии городов Российской империи, составленные в статистическом отделении совета Министерства внутренних дел. СПб.: Тип. МВД, 1852. 41 с.
55. Тарова Р. Ф. Материальная культура карел (Карельская АССР): Этнографический очерк. М.; Л.: Наука, 1965. 222 с.
56. Томилов Ф. С. Север в далеком прошлом: Краткий исторический очерк. Архангельск: ОГИЗ, Архангельское изд-во, 1947. 97 с.
57. Фишман О. М. К изучению этнической культуры карел Верхневолжья // Современное финно-угроведение: Опыт и проблемы. Л., 1990. С. 158–160.
58. Шаскольский И. П. Борьба Руси против шведской экспансии в Карелии: Конец XIII – начало XIV в. Петрозаводск: Карелия, 1987. 141 с.

УДК 624.072

АЛЕКСЕЙ НИКОЛАЕВИЧ ПЕТРОВ

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

ЗАХАР АНДРЕЕВИЧ ВОРОНИН

инженер ООО «САНА»
 voronin@onego.ru

АННА ВЛАДИМИРОВНА ЕВСЕЕВА

преподаватель кафедры архитектуры, строительных конструкций и геотехники строительного факультета ПетрГУ
 petr@psu.karelia.ru

ОСОБЕННОСТИ ФИЗИЧЕСКИ-НЕЛИНЕЙНОГО РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК-СТЕНОК С ТРЕЩИНАМИ ПРИ ЗНАКОПЕРЕМЕННОМ НАГРУЖЕНИИ

Рассматриваются особенности физически-нелинейного анализа напряженно-деформированного состояния железобетонных балок-стенок с трещинами при циклическом нагружении. В основу методики физически-нелинейного расчета положены зависимости деформационной теории пластичности железобетона с трещинами Н. И. Карпенко. Приводятся результаты расчета экспериментальной балки-стенки из опытов К. Герстле и В. Червенки.

Ключевые слова: теория пластичности железобетона, балки-стенки с трещинами, циклическое нагружение

Для знакопеременного нагружения принципиальную важность имеет решение вопроса об учете накопления остаточных деформаций в бетоне при изменении знака напряжений. Принятый в данной работе подход показан на примере трансформации условной диаграммы деформирования бетона при одноосном напряженном состоянии (рис. 1).

До смены знака напряжений в бетоне остаточные деформации определяются как сумма нелинейных деформаций, вызванных напряжениями текущего знака, и деформаций усадки (точка B_{i-1}). Со сменой знака напряжений на диаграмме осуществляется перенос вершины secущей с углом наклона α через начало координат (точка B_i). В результате меняется знак не только упругих, но и остаточных деформаций, чем обеспечивается соответствие физическому смыслу задачи при алгоритмизации расчета. Таким образом, смена знака деформаций позволяет сохранить параметры физического состояния бетона после изменения нагрузки – уровень напряжений, момент трещинообразования и др. Подробная методика учета накопления остаточ-

ных деформаций при плоском напряженном состоянии рассмотрена в работе [2].

Для расчета по предложенной методике была выбрана балка-стенка W-4 специальной конструкции, предназначенная для испытаний на малоцикловую нагрузку и исследованная в опытах К. Герстле и В. Червенки [4]. В балке-стенке длиной 1830 мм и толщиной 76,2 мм предусмотрены три поперечных ребра сечением 298×102 мм, обеспечивающих реверсивный характер приложения нагрузки. Армирование конструкции – одной сеткой из стержневой арматуры периодического профиля $\varnothing 7,6$ мм и шагом 76,2 мм (коэффициенты армирования $\mu_x = \mu_y = 0,00785$). Физико-механические свойства арматуры приведены в табл. 1.

Таблица 1

Арматура	E_s , МПа	$\sigma_{s,el}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_u , МПа	ϵ_{su}
$\varnothing 7,6$ мм	$1,9 \times 10^5$	290	353	550	0,02*

* Принято по аналогии со стержневой арматурой с подобными показателями прочности.

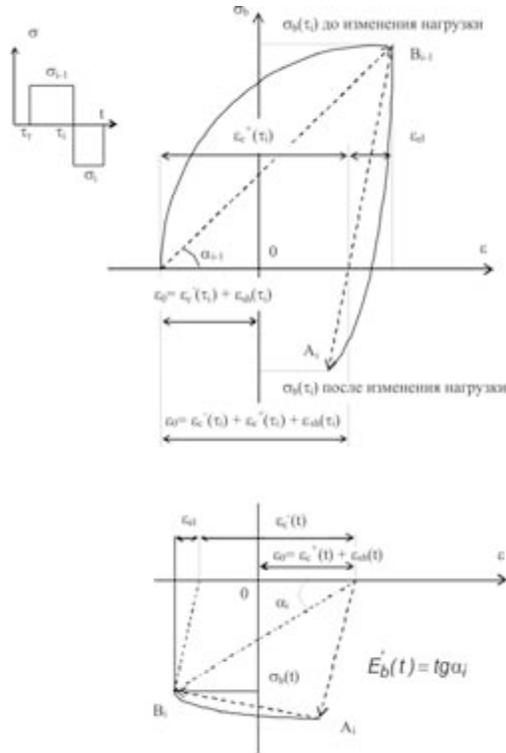


Рис. 1. Условная диаграмма деформирования бетона при знакопеременном нагружении

Физико-механические свойства бетона балки-стенки приведены в табл. 2.

Таблица 2
Физико-механические свойства бетона балки-стенки

Цилиндрическая прочность R_c , МПа	Кубиковая прочность R (20×20 см), МПа	Призменная прочность R_b^* , МПа	Прочность при осевом растяжении R_{bt} , МПа	Модуль мгно.-упр. деформаций E_b , МПа
24,45	29,45	21,6**	1,97**	20000

* Вычислено по формуле $R_b = R_c / 0,83$;

** Вычислены как средние значения при коэффициенте вариации 13 %.

Секунные модули деформаций бетона определялись по методике диаграмм-изохрон, подробно изложенной в работе [1]. Для эталонной диаграммы-изохроны было принято $\hat{\epsilon}_b(\tau) = 2,5 \times 10^{-3}$. В качестве меры линейной ползучести была использована функция, рекомендованная в работе [3], параметры которой составили $C_0 = 7 \times 10^{-3}$; $B_1 = 0,75$; $\gamma_1 = 0,008$; $B_2 = 0,2$; $\gamma_2 = 0,01$.

Схема армирования балки-стенки W-4, совмещенная со схемой загрузки, приведена на рис. 2. Для расчета часть балки-стенки, примыкающая к продольному ребру, была разбита на 110 прямоугольных конечных элементов двух типов: толщиной 298 мм для опорного ребра (элементы № 1, 12, ..., 100) и 76,2 мм для остальных. Число узлов в системе составило 138.

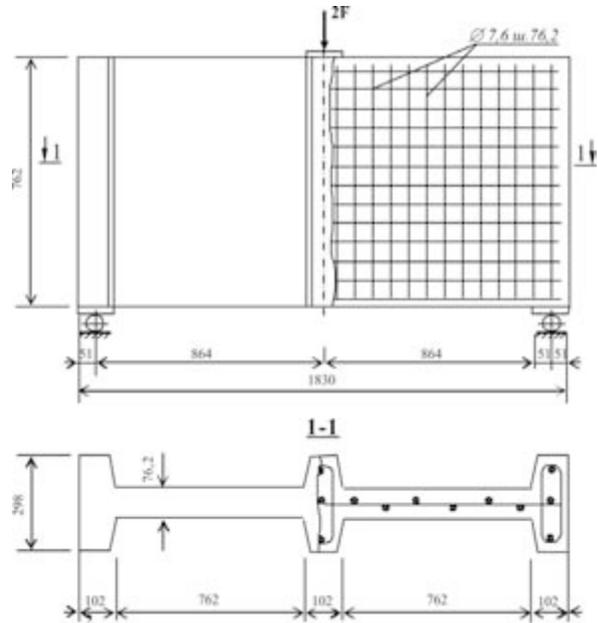


Рис. 2. Схема армирования балки-стенки W-4 [3]

Каждый полуцикл нагружения балки-стенки был разделен на 20 ступеней, $F_{\max} = 7,3 + 19 \times 5 = 102,3$ кН. Время выдержки нагрузки на каждой ступени нагружения было принято 3 мин. Таким образом, для расчета балки-стенки использовались диаграммы-изохроны жесткого режима загрузки с параметрами $t - \tau$ от 3 мин до $t - \tau = 3 \times 100 = 300$ мин.

На рис. 3 представлены графики прогиба балки-стенки на $2\frac{1}{2}$ цикла нагружения.

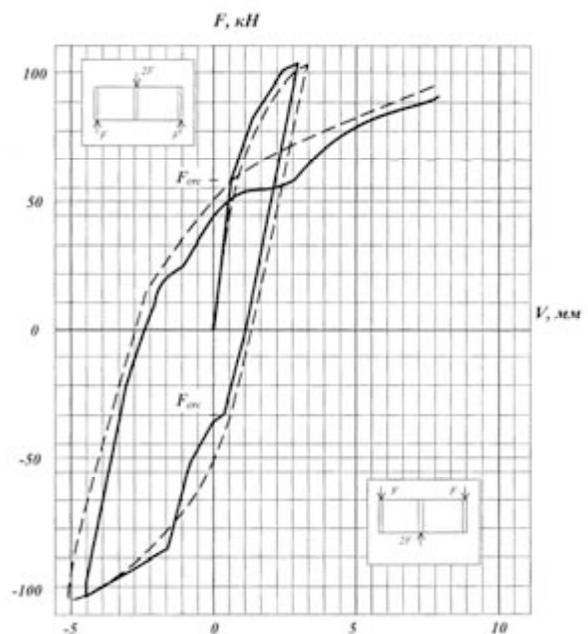


Рис. 3. Кривая прогиба балки-стенки W-4 при циклическом нагружении из опытов [4]

Примечание. _____ опыт; - - - - - расчет.

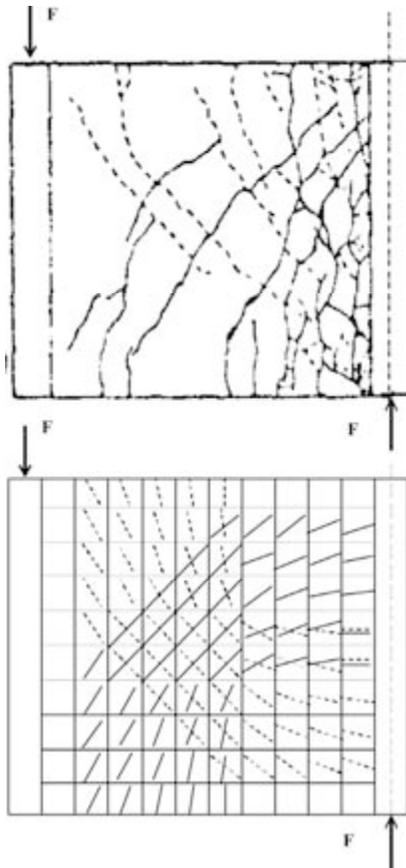


Рис. 4. Схема образования и раскрытия трещин в балке-стенке W-4 [1].

Примечание. Вверху – опыт, внизу – расчет. Пунктир – схема трещин на $1/2$ цикла, сплошная линия – на $1\frac{1}{2}$ цикла.

На первом полуцикле нагружения расчетная нагрузка трещинообразования составила 58 кН, что практически совпало с опытом. Дальнейший рост нагрузки привел к развитию характерной системы трещин (показана пунктиром на рис. 4), которые практически полностью закрылись на втором полуцикле нагружения (разгрузке). На $1\frac{1}{2}$ цикла нагружения нагрузка трещинообразования составила 32,4 кН. Дальнейший рост нагрузки привел к развитию характерной системы трещин (показана сплошной линией на рис. 4). При этом нелинейность деформирования существенно возросла, а прогиб балки-стенки в конце $1\frac{1}{2}$ цикла нагружения возрос практически в два раза по сравнению с прогибом на первой $1/2$ цикла. Деформированные балки-стенки на 2 и $2\frac{1}{2}$ цикла нагружения сопровождалось существенным раскрытием первичной системы трещин и резким нарастанием нелинейности деформирования. Прогиб балки-стенки в конце $2\frac{1}{2}$ цикла нагружения более чем в три раза превысил прогиб на первой $1/2$ цикла. Наряду с этим анализ напряженного состояния конечных элементов показал, что часть продольной и поперечной арматуры сетки в конце $1/2$, $1\frac{1}{2}$ и $2\frac{1}{2}$ цикла нагружения работала в пластической стадии, чему соответствует значительная ширина раскрытия трещин, зафиксированная в опыте.

Сопоставление результатов расчета и опытных данных позволяет сделать вывод, что деформационная теория железобетона с трещинами с достаточной степенью точности описывает нелинейное поведение конструкций при знакопеременном малоцикловом нагружении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпенко Н. И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 416 с.
2. Петров А. Н. К методике учета остаточных деформаций при расчете железобетонных элементов // Ползучесть в конструкциях. Одесса: ОГАСА, 1998. С. 87–91.
3. Прокопович И. Е., Зедгенидзе В. А. Прикладная теория ползучести. М.: Стройиздат, 1980. 240 с.
4. Cervenka V., Gerstle K. H. Inelastic Analysis of Reinforced Concrete Panels: Theory (1), and Experimental Verification and Application (2) // Publications International Association for Bridge and Structural Engineering. Zurich, 1971. Vol. 31-00. P. 32–45; 1972. Vol. 32–11. P. 26–39.

УДК 624.014 .074 : 539.4

АНАТОЛИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ РОЧЕВ

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

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕЛИНЕЙНО УПРУГИХ СТЕРЖНЕВЫХ ПЛИТ И ОБОЛОЧЕК

Построена математическая модель, позволяющая выполнить деформационный расчет, проверить прочность и устойчивость нелинейно упругих стержневых плит и оболочек. Расчет базируется на использовании основных положений сплошных слоистых анизотропных гибких оболочек с применением полученных в работе эквивалентных жесткостных характеристик, учитывающих нелинейные свойства материала и влияние деформаций поперечного сдвига.

Ключевые слова: стержневые плиты и оболочки, нелинейно упругий материал, эквивалентные жесткостные характеристики, деформация поперечного сдвига

В работе рассматриваются металлические двух-поясные сетчатые оболочки, имеющие постоянную толщину. Поясные сетки соединены между собой системой раскосов, связывающих между собой узлы противоположащих сеток.

Пространственная стержневая система представляется при расчете как некоторая квазиконтинуальная среда. Поясные сетки заменяются эквивалентными сплошными слоями. Исследуется напряженно-деформированное состояние геометрически и физически нелинейной сдвигоподатливой оболочки. Предлагаемый метод расчета сквозных нелинейных оболочек базируется на использовании основных положений теории расчета сплошных слоистых анизотропных линейно-упругих гибких оболочек, абсолютно жестких на поперечный сдвиг [1].

Рассматривается ортотропная оболочка, отнесенная к триортогональной системе криволинейных координат α , β , γ . В работе использу-

ется гипотеза недеформируемых нормалей. Учет деформаций сдвига осуществляется способом, предложенным С. П. Тимошенко [3]. Материал стержневой оболочки – нелинейно-упругий, для него устанавливается произвольная зависимость между деформациями и напряжениями. Силовые и температурные деформации считаются аддитивными.

При расчете применяется шаговый режим загрузки [2]. На первом шаге загрузки для расчета сплошной сдвигоподатливой оболочки используются ее эквивалентные жесткостные характеристики, рассчитанные на основе знания свойств материала, соответствующих начальному отрезку кривой деформирования. После каждого i -го шага загрузки на площадках главных нормальных сечений оболочки определяются внутренние силы и моменты (как в сплошной оболочке), включающие в себя тангенциальные силы, действующие в плоскости касательной к

координатной поверхности оболочки, (нормальные $T_1^{(i)}$, $T_2^{(i)}$ и сдвигающие $S_{12}^{(i)}$, $S_{21}^{(i)}$), поперечные силы $Q_1^{(i)}$, $Q_2^{(i)}$ изгибающие моменты $M_1^{(i)}$, $M_2^{(i)}$, крутящие моменты $H_{12}^{(i)}$, $H_{21}^{(i)}$, отнесенные к единице длины дуги соответствующих координатных линий.

Уравнения, устанавливающие связь между внутренними усилиями и деформациями растяжения и изгиба координатной поверхности (с учетом влияния изменения температуры), имеют вид

$$\begin{aligned} T_1^{(i)} &= C_{11}^{(i)}\varepsilon_1^{(i)} + C_{12}^{(i)}\varepsilon_2^{(i)} + K_{11}^{(i)}\chi_1^{(i)} + K_{12}^{(i)}\chi_2^{(i)} + C_{1T}^{(i)}, \\ T_2^{(i)} &= C_{22}^{(i)}\varepsilon_2^{(i)} + C_{21}^{(i)}\varepsilon_1^{(i)} + K_{22}^{(i)}\chi_2^{(i)} + K_{21}^{(i)}\chi_1^{(i)} + C_{2T}^{(i)}, \\ M_1^{(i)} &= D_{11}^{(i)}\chi_1^{(i)} + D_{12}^{(i)}\chi_2^{(i)} + K_{11}^{(i)}\varepsilon_1^{(i)} + K_{12}^{(i)}\varepsilon_2^{(i)} + K_{1T}^{(i)}, \\ M_2^{(i)} &= D_{22}^{(i)}\chi_2^{(i)} + D_{21}^{(i)}\chi_1^{(i)} + K_{22}^{(i)}\varepsilon_2^{(i)} + K_{21}^{(i)}\varepsilon_1^{(i)} + K_{2T}^{(i)}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\varepsilon_1^{(i)}$, $\varepsilon_2^{(i)}$ – относительные деформации удлинений по направлениям координатных линий α, β ; $\chi_1^{(i)}$, $\chi_2^{(i)}$ – изменение кривизн координатной поверхности при изгибе.

В (1) коэффициенты при компонентах деформаций представляют собой параметры, характеризующие жесткость двухпоясной оболочки

$$\begin{aligned} C_{jk}^{(i)} &= \sum_{s=1}^2 B_{jk}^{(si)} A_j^{(s)}, \quad D_{jk}^{(i)} = \frac{h_0^2}{4} \sum_{s=1}^2 B_{jk}^{(si)} A_j^{(s)}, \\ K_{jk}^{(i)} &= \frac{h_0}{2} \sum_{s=1}^2 B_{jk}^{(si)} A_j^{(s)} (-1)^{s+1}, \\ C_{jT}^{(i)} &= -\sum_{s=1}^2 A_j^{(s)} (B_{j1}^{(si)} \alpha_1^{(si)} + B_{j2}^{(si)} \alpha_2^{(si)}) \Gamma, \\ K_{jT}^{(i)} &= -\frac{h_0}{2} \sum_{s=1}^2 A_j^{(s)} (B_{j1}^{(si)} \alpha_1^{(si)} + B_{j2}^{(si)} \alpha_2^{(si)}) \Gamma (-1)^{s+1}, \end{aligned} \quad (2)$$

где h_0 – расстояние между срединными поверхностями поясных сеток оболочки; $A_j^{(s)}$ – площадь поперечного сечения единицы длины s -го пояса в j -ом направлении; $\alpha_1^{(si)}$, $\alpha_2^{(si)}$ – коэффициенты линейного теплового расширения; Γ – изменение температуры.

Коэффициенты $B_{jk}^{(si)}$ в (2) определяются из следующих выражений

$$\begin{aligned} B_{11}^{(si)} &= \frac{E_1^{(si)}}{1 - \nu_1^{(si)} \nu_2^{(si)}}, \quad B_{22}^{(si)} = \frac{E_2^{(si)}}{1 - \nu_1^{(si)} \nu_2^{(si)}}, \\ B_{12}^{(si)} &= B_{21}^{(si)} = \frac{\nu_2^{(si)} E_1^{(si)}}{1 - \nu_1^{(si)} \nu_2^{(si)}} = \frac{\nu_1^{(si)} E_2^{(si)}}{1 - \nu_1^{(si)} \nu_2^{(si)}}, \end{aligned} \quad (3)$$

где $E_1^{(si)}$, $E_2^{(si)}$ – модули продольных деформаций поясов оболочки по направлениям α и β ; $\nu_1^{(si)}$, $\nu_2^{(si)}$ – коэффициенты Пуассона, характеризующие поперечное сжатие слоев при растяжении в направлении координатных криволинейных осей α и β .

Перечисленные выше усилия $T_1^{(i)}$, $T_2^{(i)}$, $M_1^{(i)}$, $M_2^{(i)}$, $S_{12}^{(i)}$, $S_{21}^{(i)}$, $H_{12}^{(i)}$, $H_{21}^{(i)}$ воспринимаются в сквозной оболочке в уровне срединных поверхностей поясных сеток, перераспределившись между ними пропорционально их жесткостям так, что вызывают ранее указанные деформации координатной поверхности оболочки $\varepsilon_1^{(i)}$, $\varepsilon_2^{(i)}$, $\chi_1^{(i)}$, $\chi_2^{(i)}$, $\omega^{(i)}$, $\tau^{(i)}$. Усилия $Q_1^{(i)}$ и $Q_2^{(i)}$ воспринимаются системой связей между поясными сетками.

Усилия, полученные в сплошной оболочке, используются для определения деформаций «кристалла» сетчатой оболочки $\tilde{\varepsilon}_1^{(i)}$, $\tilde{\varepsilon}_2^{(i)}$, $\tilde{\chi}_1^{(i)}$, $\tilde{\chi}_2^{(i)}$, а также $\tilde{\omega}^{(i)}$, $\tilde{\tau}^{(i)}$, применяя известные приемы перехода от континуальной среды к дискретной и наоборот [4], с учетом нелинейной связи между деформациями и напряжениями в материале стержней оболочки. Дополнительно учитывается влияние деформаций поперечного сдвига на кривизну координатной поверхности

$$\begin{aligned} \hat{\chi}_1^{(i)} &= \tilde{\chi}_1^{(i)} + [Q_1^{(i)}] \gamma_1^{(i)}, \\ \hat{\chi}_2^{(i)} &= \tilde{\chi}_2^{(i)} + [Q_2^{(i)}] \gamma_2^{(i)}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $\gamma_1^{(i)}$ и $\gamma_2^{(i)}$ – углы поперечного сдвига системы связей между поясными сетками соответственно от $Q_1^{(i)} = 1$ и $Q_2^{(i)} = 1$, определяемые с учетом [4].

Перечисленные выше деформации слоистой анизотропной оболочки и уравнения (1) позволяют найти величины жесткостных характеристик для расчета оболочки на следующем $(i+1)$ шаге загрузки по формулам

$$\begin{aligned} B_{\text{экр},11}^{(1,i+1)} &= (U_3^{(i)} T_1^{(i)} - U_1 M_1^{(i)}) / (U_2^{(i)} U_3^{(i)} - U_1^{(i)} U_4^{(i)}), \\ B_{\text{экр},11}^{(2,i+1)} &= (U_4^{(i)} T_1^{(i)} - U_2 M_1^{(i)}) / (U_2^{(i)} U_3^{(i)} - U_1^{(i)} U_4^{(i)}), \\ B_{\text{экр},22}^{(1,i+1)} &= (U_8^{(i)} T_2^{(i)} - U_5 M_2^{(i)}) / (U_6^{(i)} U_8^{(i)} - U_5^{(i)} U_7^{(i)}), \\ B_{\text{экр},22}^{(2,i+1)} &= (U_7^{(i)} T_2^{(i)} - U_6 M_2^{(i)}) / (U_6^{(i)} U_8^{(i)} - U_5^{(i)} U_7^{(i)}), \end{aligned} \quad (5)$$

где коэффициенты $U_m^{(i)}$ ($m=1..8$) имеют следующий вид

$$\begin{aligned} U_1^{(i)} &= A_1^{(2)} [\tilde{\varepsilon}_1^{(i)} + \tilde{\nu}_2^{(2,i)} \tilde{\varepsilon}_2^{(i)} - h_0 (\hat{\chi}_1^{(i)} + \tilde{\nu}_2^{(2,i)} \hat{\chi}_2^{(i)}) / 2 + V_2^{(T)}] \\ U_2^{(i)} &= A_1^{(1)} [\tilde{\varepsilon}_1^{(i)} + \tilde{\nu}_2^{(1,i)} \tilde{\varepsilon}_2^{(i)} + h_0 (\hat{\chi}_1^{(i)} + \tilde{\nu}_2^{(1,i)} \hat{\chi}_2^{(i)}) / 2 + V_1^{(T)}] \\ U_3^{(i)} &= -h_0 A_1^{(2)} [\tilde{\varepsilon}_1^{(i)} + \tilde{\nu}_2^{(2,i)} \tilde{\varepsilon}_2^{(i)} - h_0 (\hat{\chi}_1^{(i)} + \tilde{\nu}_2^{(2,i)} \hat{\chi}_2^{(i)}) / 2 + V_3^{(T)}] / 2 \\ U_4^{(i)} &= h_0 A_1^{(1)} [\tilde{\varepsilon}_1^{(i)} + \tilde{\nu}_2^{(1,i)} \tilde{\varepsilon}_2^{(i)} + h_0 (\hat{\chi}_1^{(i)} + \tilde{\nu}_2^{(1,i)} \hat{\chi}_2^{(i)}) / 2 + V_1^{(T)}] / 2 \\ U_5^{(i)} &= A_2^{(2)} [\tilde{\varepsilon}_2^{(i)} + \tilde{\nu}_1^{(2,i)} \tilde{\varepsilon}_1^{(i)} - h_0 (\hat{\chi}_2^{(i)} + \tilde{\nu}_1^{(2,i)} \hat{\chi}_1^{(i)}) / 2 + V_5^{(T)}] \\ U_6^{(i)} &= A_2^{(1)} [\tilde{\varepsilon}_2^{(i)} + \tilde{\nu}_1^{(1,i)} \tilde{\varepsilon}_1^{(i)} + h_0 (\hat{\chi}_2^{(i)} + \tilde{\nu}_1^{(1,i)} \hat{\chi}_1^{(i)}) / 2 + V_4^{(T)}] \end{aligned} \quad (6)$$

$$U_7^{(i)} = h_o A_2^{(1)} [\tilde{\varepsilon}_2^{(i)} + \tilde{v}_1^{(1,i)} \tilde{\varepsilon}_1^{(i)} + h_o (\hat{\chi}_2^{(i)} + \tilde{v}_1^{(1,i)} \hat{\chi}_1^{(i)}) / 2 + V_4^{(T)}] / 2$$

$$U_8^{(i)} = -h_o A_2^{(2)} [\tilde{\varepsilon}_2^{(i)} + \tilde{v}_1^{(2,i)} \tilde{\varepsilon}_1^{(i)} - h_o (\hat{\chi}_2^{(i)} + \tilde{v}_1^{(2,i)} \hat{\chi}_1^{(i)}) / 2 + V_6^{(T)}] / 2$$

здесь

$$\begin{aligned} V_1^{(T)} &= -T(\alpha_1^{(1)} + v_2^{(1)} \alpha_2^{(1)}), \\ V_2^{(T)} &= -T(\alpha_1^{(2)} + v_2^{(2)} \alpha_2^{(2)}), \\ V_3^{(T)} &= -T(\alpha_1^{(2)} - v_2^{(2)} \alpha_2^{(2)}), \\ V_4^{(T)} &= -T(\alpha_2^{(1)} + v_1^{(1)} \alpha_1^{(1)}), \\ V_5^{(T)} &= -T(\alpha_2^{(2)} + v_1^{(2)} \alpha_1^{(2)}), \\ V_6^{(T)} &= -T(\alpha_2^{(2)} - v_1^{(2)} \alpha_1^{(2)}). \end{aligned} \quad (7)$$

Зная зависимости (3), определяются

$$\begin{aligned} B_{\text{экр},12}^{(1,i+1)} &= B_{\text{экр},11}^{(1,i+1)} \tilde{v}_2^{(1,i+1)}, \quad B_{\text{экр},12}^{(2,i+1)} = B_{\text{экр},11}^{(2,i+1)} \tilde{v}_2^{(2,i+1)}, \\ B_{\text{экр},21}^{(1,i+1)} &= B_{\text{экр},22}^{(1,i+1)} \tilde{v}_1^{(1,i+1)}, \quad B_{\text{экр},21}^{(2,i+1)} = B_{\text{экр},22}^{(2,i+1)} \tilde{v}_1^{(2,i+1)}. \end{aligned} \quad (8)$$

Уравнения, устанавливающие связь между внутренними усилиями и деформациями сдвига и кручения, имеют вид

$$\begin{aligned} H^{(i)} &= H_{12}^{(i)} = H_{21}^{(i)} = D_{66}^{(i)} \tau^{(i)} + K_{66}^{(i)} \omega^{(i)}, \\ S^{(i)} &= S_{12}^{(i)} = S_{21}^{(i)} = C_{66}^{(i)} \omega^{(i)} + K_{66}^{(i)} \tau^{(i)}, \end{aligned} \quad (9)$$

где $\omega^{(i)}$ и $\tau^{(i)}$ – угол сдвига и относительная деформация кручения координатной поверхности оболочки.

В (8) жесткостные коэффициенты при компонентах деформаций определяются по формулам

$$C_{66}^{(i)} = \sum_{s=1}^2 B_{66}^{(si)}, \quad K_{66}^{(i)} = \frac{h_o}{2} \sum_{s=1}^2 B_{66}^{(si)} (-1)^{s+1}, \quad (10)$$

$$D_{66}^{(i)} = \frac{h_o}{2} \sum_{s=1}^2 B_{66}^{(si)},$$

где $B_{66}^{(si)} = G_{12}^{(si)}$ – жесткость на сдвиг в плоскости касательной к координатной поверхности.

Зная $S^{(i)}$, $H^{(i)}$, из рассмотрения картины деформации «кристалла» сетчатой оболочки с учетом нелинейной связи $\sigma = f(\varepsilon)$ для материала стержней поясов определяются деформации $\tilde{\omega}^{(i)}$ и $\tilde{\tau}^{(i)}$, а затем, используя (10), величины $G_{\text{экр},12}^{(1,i+1)}$ и $G_{\text{экр},12}^{(2,i+1)}$ для расчета оболочки на следующем $(i+1)$ шаге нагружения

$$\begin{aligned} G_{\text{экр},12}^{(1,i+1)} &= -(U_{12}^{(i)} S^{(i)} + U_{13}^{(i)} H^{(i)}) / U_9^{(i)}, \\ G_{\text{экр},12}^{(2,i+1)} &= -(U_{10}^{(i)} S^{(i)} + U_{11}^{(i)} H^{(i)}) / U_9^{(i)}, \end{aligned} \quad (11)$$

где

$$\begin{aligned} U_9^{(i)} &= h_o (\tilde{\tau}^2 h_o - 2\tilde{\omega}^2), \quad U_{10}^{(i)} = h_o (\tilde{\omega} + \tilde{\tau}), \\ U_{11}^{(i)} &= -(2\tilde{\omega} + \tilde{\tau} h_o), \quad U_{12}^{(i)} = h_o (\tilde{\omega} - \tilde{\tau}), \\ U_{13}^{(i)} &= 2\tilde{\omega} - \tilde{\tau} h_o. \end{aligned} \quad (12)$$

Полученные величины эквивалентных жесткостных характеристик $B_{\text{экр},11}^{(1,i+1)}$, $B_{\text{экр},11}^{(2,i+1)}$, $B_{\text{экр},22}^{(1,i+1)}$, $B_{\text{экр},22}^{(2,i+1)}$, $B_{\text{экр},12}^{(1,i+1)}$, $B_{\text{экр},12}^{(2,i+1)}$, $B_{\text{экр},21}^{(1,i+1)}$, $B_{\text{экр},21}^{(2,i+1)}$, $G_{\text{экр},12}^{(1,i+1)}$ позволяют, зная [1], решать задачи прочности, жесткости и устойчивости физически и геометрически нелинейных стержневых оболочек. Аналогично выполняется расчет стержневых плит.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амбарцумян С. А. Общая теория анизотропных оболочек. М.: Наука, 1974. 446 с.
2. Биргер И. А. Общие алгоритмы решения задач теории упругости, пластичности // Успехи механики деформируемых сред. М.: Наука, 1975. С. 61–73.
3. Тимошенко С. П. Устойчивость упругих систем. М.; Л.: Гостехиздат, 1946. 531 с.
4. Трофимов В. И., Бегун Г. Б. Структурные конструкции. М.: Стройиздат, 1972. 272 с.

УДК 598.25:591.13

ЮРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ КРАСНОВ

доктор биологических наук, главный научный сотрудник
отдела морских млекопитающих и птиц Мурманского
морского биологического института, Кольский НЦ РАН
kharlov51@mail.ru

ГАЛИНА АНДРЕЕВНА ШКЛЯРЕВИЧ

доктор биологических наук, профессор кафедры зоологии
и экологии эколого-биологического факультета ПетрГУ
gash@psu.karelia.ru

ЮРИЙ ИГОРЕВИЧ ГОРЯЕВ

научный сотрудник отдела морских млекопитающих и
птиц Мурманского морского биологического института,
Кольский НЦ РАН
science@mmbi.info

**ОСОБЕННОСТИ ПИТАНИЯ ГАГИ-ГРЕБЕНУШКИ (*SOMATERIA SPECTABILIS*)
НА МЕЛКОВОДЬЯХ У ОСТРОВА ДОЛГИЙ (ЮГО-ВОСТОК БАРЕНЦЕВА МОРЯ)**

В юго-восточной части Печорского моря (юго-восточный район Баренцева моря), в местах массовой линьки морских уток у острова Долгий собрано 53 порции помета гаг-гребенушек *Somateria spectabilis*. Анализ их содержимого показал, что питание птиц данного вида состоит из 8 групп кормов. Его основу составляют беспозвоночные бентосные организмы. Наиболее часто в пробах встречаются моллюски (100 %) и полихеты (62,3 %).
Ключевые слова: гага-гребенушка, состав корма, моллюски, мидия, полихеты, Баренцево море, нефтяное загрязнение

На мелководьях юго-восточной части Баренцева моря, нередко называемой Печорским морем, во второй половине лета линяют десятки тысяч гаг-гребенушек *Somateria spectabilis* [2]. Особо крупные скопления птиц ежегодно держатся всего в нескольких районах. Наибольшая численность отмечена в юго-восточных районах Печорского моря, на участках акватории, примыкающей к о. Долгий. Концентрация гребенушек здесь бывает настолько высока, что численность отдельных стай может достигать 10 тысяч особей. Длительное пребывание такого количества крупных морских уток в определенных районах акватории может осуществляться лишь при соответствующем наличии доступного для птиц корма. Конкретные данные о составе корма гаг-гребенушки в юго-восточной части Баренцева моря в литературе отсутствуют.

С одной стороны, такая информация представляет существенный интерес для понимания различных аспектов функционирования морских экосистем. Ежегодно гаги-гребенушки должны утилизировать значительные объемы,

главным образом, бентосных организмов и, таким образом, оказывать заметное воздействие на естественный ход развития донных биоценозов. С другой – именно эти районы Печорского моря в ближайшем будущем подвергнутся многофакторному антропогенному воздействию вследствие промышленной добычи нефти на шельфе моря. В результате таких воздействий могут возникнуть нежелательные изменения в структуре донных сообществ и биоценозов. В итоге устоявшиеся трофические связи гаги-гребенушки могут быть разрушены, что резко ухудшит условия обитания данного вида в традиционных районах линьки и миграционных остановок.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Информация о составе корма гаг-гребенушек в период линьки была получена при проведении копрологического анализа. При посещении о. Долгого (юго-восточная часть Печорского моря) в августе 2000 года в местах отдыха скоплений

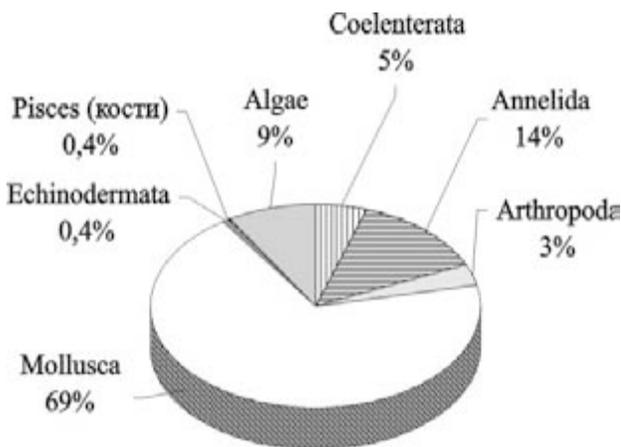
линьных птиц было собрано 53 пробы помета гаг-гребенушек.

Все пробы были тщательно высушены. В дальнейшем в лабораторных условиях каждую пробу в отдельной чашке Петри размачивали в морской воде в течение 3 часов, после чего ее разбирали под бинокляром при увеличении 8×1 и 8×2. Трудноопределяемые фрагменты при необходимости просматривали при большем увеличении.

Частицы грунта и гастролиты в пищевые спектры не вносили, их наличие или отсутствие описывали отдельно. За гастролиты принимали более или менее окатанные каменные фракции.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате проведенного копрологического анализа питания гаг-гребенушек у о. Долгий было установлено наличие 8 групп корма. В целом абсолютная встречаемость различных компонентов корма в серии полученных нами проб представлена в таблице. В них были найдены главным образом беспозвоночные животные. Более трети проб содержали водоросли. Позвоночные животные были представлены рыбой. Ее кости были обнаружены лишь в одной пробе. Наиболее часто встречались моллюски и полихеты. Среди первых наиболее широко были представлены двустворчатые моллюски. В этой группе наивысшие показатели по абсолютной встречаемости зарегистрированы у мидии (*Mytilus edulis*) и моллюсков рода *Macoma*. Первых наблюдали абсолютно во всех пробах, вторые были встречены более чем в трети просмотренных проб. Среди брюхоногих моллюсков наиболее часто встречали представителей рода *Buccinum*.



Встречаемость кормов в питании гаги-гребенушки у о. Долгий, Печорское море, в 2000 году (по данным копрологического анализа). Проценты от суммы встреч всех видов корма

Относительная встречаемость различных видов корма в питании гаг-гребенушек представлена на рисунке. На долю двустворчатых моллюсков приходится 48,0 % всех обнаружений пищевых компонентов. И хотя, как было показано выше, мидии были обнаружены абсолютно во всех пробах, их доля от общей суммы всех пищевых компонентов оказалась всего 21,7 %. Примерно столько составляет вся сумма встреч брюхоногих моллюсков. В то же время полихеты составили 13,5 % от всей суммы встреч пищевых компонентов.

Встречаемость кормов в питании гаги-гребенушки у о. Долгий, Печорское море, август 2000 г. (по данным копрологического анализа)

Компоненты питания	Количество встреч кормов (количество порций помета n = 53)	
	абс.	%
Coelenterata		
<i>Hydrophilipae</i>	12	22,6
Annelida		
Polychaeta, ближе не определены	33	62,3
Arthropoda		
Crustacea		
Decapoda, ближе не определены	1	1,9
Crustacea, ближе не определены	7	13,2
Mollusca		
Gastropoda		
<i>Testudinalia tessellata</i>	2	3,8
<i>Margarites</i> spp.	2	3,8
Naticidae		
<i>Buccinum</i> spp.	17	32,1
<i>Naticidae</i> spp.	4	7,6
Gastropoda, ближе не определены	26	49,1
Bivalvia		
<i>Musculus</i> spp.	10	18,9
<i>Modiolus modiolus</i>	6	11,3
<i>Mytilus edulis</i>	53	100,0
Hiatellidae	11	20,7
<i>Macoma</i> spp.	17	32,1
Myidae	8	15,1
Bivalvia, ближе не определены	12	22,6
Echinodermata		
Ophiuroidea	1	1,9
Pisces (кости)		
	1	1,9
Algae		
<i>Sphacellaria</i> spp.	2	3,8
Algae, ближе не определены	19	35,8

ОБСУЖДЕНИЕ

В отличие от обыкновенной гаги, имеющей тесные трофические связи с морскими биоценозами в течение круглого года, гага-гребенушка гнездится и выращивает птенцов большей частью на пресных водоемах тундры. После начала массового насиживания самцы гаги-гребенушки и холостые самки покидают районы размножения и концентрируются на морских акваториях для линьки. В это время, а также в период, предшествующий миграциям, и в ходе зимовки гаги-гребенушки питаются исключительно на море.

Учитывая особенности распределения гаг на морских акваториях в разных районах ареала, ряд авторов считают, что гага-гребенушка, по сравнению с другими видами, придерживается более открытых и глубоких мест [4], [7], [5]. Этот вывод подтверждают и наши наблюдения в разных районах Баренцева моря в летний период. В то же время крупные стаи линяющих гаг-гребенушек нередко кормятся и на мелководьях, как, например, это было в период сбора нашего материала у о. Долгий. Вполне возможно, что в отсутствие конкуренции в виде обыкновенной гаги и при наличии равноценного выбора кормовых биотопов гаги-гребенушки, как и другие виды морских уток, предпочитают более мелководные участки, экономя, таким образом, энергетические затраты на поиск и добычу пищи.

Хорошо известно, что в зависимости от места наблюдений и времени года пищевой спектр гаги-гребенушки может заметно изменяться. Исследование ее зимнего питания в Норвегии продемонстрировало потребление кроме бентосных беспозвоночных животных значительных объемов икры мойвы в период ее массового нереста [6]. Ф. Н. Шкляревич наблюдал кормежку зимующих гаг (как гребенушек, так и обыкновенных) полярной тресочкой – сайкой (*Boreogadus saida*) у Терского берега Белого моря [3]. Сайка – массовый вид рыбы в юго-восточной части Баренцева моря. Здесь она собирается в конце летнего периода для последующего нереста. Тем не менее в составе летних кормов гаг-гребенушек она не играла сколько-нибудь заметной роли.

Основу питания данного вида морских уток у о. Долгий составили главным образом моллюски и полихеты. Учитывая, что все виды гаг обладают мощным мускулистым желудком, способным перемалывать крепкие раковины моллюсков, следует иметь в виду, что высокая встречаемость последних в полученных нами пробах объясняется их лучшей сохранностью в процессе переваривания. Мягкотелые пищевые объекты, такие как ракообразные и полихеты, перевариваются значительно полнее, и, следовательно, их значение в питании гаг может серьезно недооцениваться. При более точном анализе содержимого пищеводов добытых птиц было показано, что в зимнем питании гаги-гребенушки на севере Норвегии большую роль играли не только моллюски, но

и иглокожие [4]. Последние хорошо сохраняются и регистрируются в копрологических пробах, поэтому их незначительное присутствие в экскрементах гребенушки в районе наших исследований характеризует лишь особенности местного спектра питания этого вида. В то же время абсолютная встречаемость полихет в районе наших исследований, по данным копрологического анализа, была почти в четыре раза выше, чем на севере Норвегии.

Исследования бентосных сообществ в 90-х годах прошлого столетия продемонстрировали их высокую продуктивность в юго-восточной части Печорского моря. По материалам Н. В. Денисенко и С. Г. Денисенко [1], максимальная биомасса бентоса превышает здесь 400 г/м². Проведенный данными авторами анализ как литературных источников, так и собственных материалов позволил им прийти к заключению о преобладании в юго-восточной части Печорского моря двустворчатых моллюсков. В то же время второй по значимости группой в этом районе признаны полихеты [1]. Интересно, что в открытой части Печорского моря мидия уступает как по численности, так и по биомассе другим видам двустворчатых моллюсков. Высокий уровень ее потребления, по результатам копрологического анализа, может объясняться кормежкой конкретной стаи гребенушек в прибрежье о. Долгий на более мелководном участке, где позднее, в 2007 году, было найдено сублитеральное поселение мидий.

Тем не менее большая часть птиц данного вида в августе придерживается более мористых районов [2] и, следовательно, в целом стратегия питания гребенушек в районе исследования ориентирована на потребление наиболее массовых видов доступных для них кормов – двустворчатых моллюсков и полихет.

В будущем неизбежно увеличение уровня хронического загрязнения водных масс исследованного района и повышение риска аварийных ситуаций, связанных с выбросом нефтеуглеводородов при их добыче. Так, например, в июле 2003 года было обнаружено нефтяное загрязнение льдов почти вдоль всего западного побережья о. Долгий (А. Глотов, устное сообщение). Интенсивное накопление и концентрация данных поллютантов будет происходить в организмах как мелководных двустворчатых, так и хищных брюхоногих моллюсков (из родов *Cryptonatica* и *Vuccinum*). В результате со временем возникнут изменения в структуре донных биоценозов. В итоге разрушение традиционных трофических связей приведет, как минимум, к изменению характера размещения морских уток в период линьки в юго-восточной части Печорского моря. Учитывая, что рацион гаг-гребенушек состоит почти на 70 % из мелких моллюсков, быстро накапливающих и концентрирующих нефтеуглеводороды, может происходить резкое ухудшение физиологического состояния птиц вплоть до элиминации части их популяции.

Таким образом, уже в ближайшем будущем рост антропогенной нагрузки на бентосные сообщества и возможные их изменения могут оказаться основными факторами, определяющими размещение и лимитирующими численность гаг-гребенушек на акватории Печорского моря.

БЛАГОДАРНОСТИ

Сбор полевого материала в Печорском море проведен в ходе российско-норвежской экспедиции при активной помощи ее участников Х. Стрема и М. В. Гаврило, за что авторы выражают им искреннюю признательность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Денисенко Н. В., Денисенко С. Г. Структура фауны и количественное распределение бентоса // Эко-системы, биоресурсы и антропогенное загрязнение Печорского моря. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1996. С. 61–72.
2. Краснов Ю. В., Горяев Ю. И., Шавыкин А. А., Николаева Н. Г., Гаврило М. В., Черноок В. И. Атлас птиц Печорского моря: распределение, численность, динамика, проблемы охраны. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. 164 с.
3. Шкляевич Ф. Н. Зимовки обыкновенной гаги на Белом море // Экология и морфология гаг в СССР. М.: Наука, 1979. С. 61–67.
4. Bustnes J. O., Erikstad K. E. 1988. The diets of sympatric wintering populations of Common Eider *Somateria mollissima* and King Eider *S. spectabilis* in northern Norway. *Ornis Fenn.* 65: 163–168.
5. Frimer O. 1995. Comparative behaviour of sympatric moulting populations of Common Eiders *Somateria mollissima* and King Eiders *S. spectabilis* in central West Greenland. *Wildfowl* 46: 129–139.
6. Gjøsaeter J., Sætre R. 1974. Predation of eggs of Caplin (*Mallotus villosus*) by diving ducks. *Astarte* 7: 83–89.
7. Nygård T., Larsen B. H., Follestad A., Stran K.-B. 1988. Numbers and distribution of wintering waterfowl in Norway. *Wildfowl* 39: 164–176.

УДК 574.52

СТАНИСЛАВ АЛЕКСЕЕВИЧ ГОРБАЧЕВ

старший научный сотрудник Северного НИИ рыбного хозяйства ПетрГУ

*ivanter@research.karelia.ru***ДМИТРИЙ ЭРНЕСТОВИЧ ИВАНТЕР**

кандидат биологических наук, доцент, директор Северного НИИ рыбного хозяйства ПетрГУ

ivanter@research.karelia.ru

ЭКОЛОГО-РЫБОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМЫ РЕКИ ЯНИСЙОКИ (юго-западная Российская Карелия)

В статье представлены физико-географические характеристики и техногенно трансформированные условия озерно-речной системы р. Янисйоки, имеющей трансграничный водосбор на территории Финляндии и России. Дана оценка степени воздействия объектов гидроэнергетики и промышленности (мелиорация, целлюлозно-бумажные предприятия, лесосплав, коммунальное хозяйство) на водные биоресурсы. Определены возможные перспективы рыбохозяйственного освоения водного фонда бассейна р. Янисйоки.

Ключевые слова: озерно-речная система, рыбные ресурсы, техногенная трансформация водной экосистемы, экологические последствия

Возобновляемые природные ресурсы, в их числе рыбные, формируются под воздействием разнообразных, меняющихся во времени и пространстве природных и техногенных процессов. В наиболее хозяйственно развитых районах природные образования заменяются техногенным фоном. Ухудшаются, сокращаются и даже полностью уничтожаются места и условия обитания различных видов биоты. Экология самого человека также переходит в качественно иное состояние, не обеспечивающее адекватных условий его существования.

Основными структурными элементами гидрографии Карелии являются озерно-речные системы, которые следует рассматривать с позиции бассейнового подхода как макроэкологические системы. При этом почти все крупные озера Карелии, за исключением Сямозера, трансформированы в водохранилища с зарегулированным стоком. Безусловно, такое положение привело к существенной перестройке водных сообществ в макроэкосистемах региона. К ним относится и бассейн р. Янисйоки (Карельское Приладожье и юго-восточная Финляндия).

Водная система р. Янисйоки относится к пограничной, бассейн которой по площади водосбора распределен почти поровну между Финляндией (2120 км²) и Россией (1970 км²). На территории России расположен центральный водоем системы Янисъярви, зеркало которого составляет почти 53 % от общего фонда озер бассейна р. Янисйоки. Озеро Янисъярви, преобразованное в водохранилище для каскада ГЭС, испытывает существенный техногенный пресс, но не утратило еще рыбохозяйственной ценности. Рыбные ресурсы водоема, и в целом водной системы Янисйоки, нуждаются в научно обоснованном режиме хозяйственного использования с учетом сложившейся экологической обстановки. Особую тревогу вызывает состояние популяции лосося, который воспроизводится в бассейне р. Янисйоки.

Работа выполнена по поручению Совместной российско-финляндской комиссии по использованию пограничных водных систем на основании запроса местных финских общин, расположенных на территории, прилегающей к реке Янисйоки.

1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Озерно-речная система Янисйоки (Ляскеляййоки, Янги-йоки, Jänisjoki) принадлежит водосбору Ладожского озера бассейна р. Нева. Территориально система расположена трансгранично: верховья и средняя часть – в Финляндии, нижняя – в Карелии (рис. 1, 2). На территории Карелии длина основного водотока – 68,6 км, из них река на участке 25,6–59,8 км от устья пересекает озеро-водохранилище Янисъярви, состоящее из двух плесов – Малое и Большое Янисъярви.

По данным финских исследователей [24], общая площадь водосбора р. Янисйоки равна 4090 км², в том числе в Финляндии – 2120 км² с коэффициентом озерности 6 %, средним модулем стока 8,9 л/с*км² и средним расходом воды в створе границы – 19 м³/с (колебания 5–81 м³/с).

Справочник «Ресурсы поверхностных вод СССР» [17] (РПВ-1965) указывает, что общая длина реки Янисйоки – 126 км с истоком из озера Лойтимо в Финляндии. На современных картах исток реки изображен выше озера Лойтимо, через которое она протекает, имея общую длину в Финляндии около 95–100 км. «Каталог озер и рек Карелии» [9] приводит расчетную длину реки Янисйоки 104,29 км. Очевидно, показатель общей протяженности реки подлежит уточнению.

Согласно «Каталогу озер Карелии» [8], водная система реки Янисйоки включает 991 водоем общей площадью 366,9 км², из них в границах

республики соответственно 343 водоема площадью 253,2 км² (табл. 1). Справочник РПВ-1965 [17] приводит другие данные для Карелии: 462 водоема общей площадью 279 км². Озеро Корпийярви разделено госграницей: из общей площади 15,3 км² Республике Карелия принадлежит 7,7 км² [9].

Водосборная площадь р. Янисйоки в Карелии характеризуется коэффициентом озерности 13,4 %, что обусловлено наличием водохранилища Янисъярви, площадь которого при НПУ на отметке 66,0 м БС равна 200 км². При средней многолетней отметке уровня 64,4 м БС площадь зеркала 189,12 км² [9]. Следовательно, Янисъярви составляет более половины всего фонда водоемов системы р. Янисйоки, а средняя площадь других озер – всего 0,18 км². Основные сведения по водным объектам системы даны в таблицах 1–3.

Рельеф водосбора р. Янисйоки грядовой, сильно расчлененный. Четвертичные отложения почти полностью отсутствуют. Понижения местности иногда заболочены. Общий коэффициент заболоченности по карельской части водосбора всего 3,2 % при облесенности 78 % и озерности 13,4 %. В хозяйственном отношении наиболее освоены низовья бассейна и район погранзоны Вяртсиля.

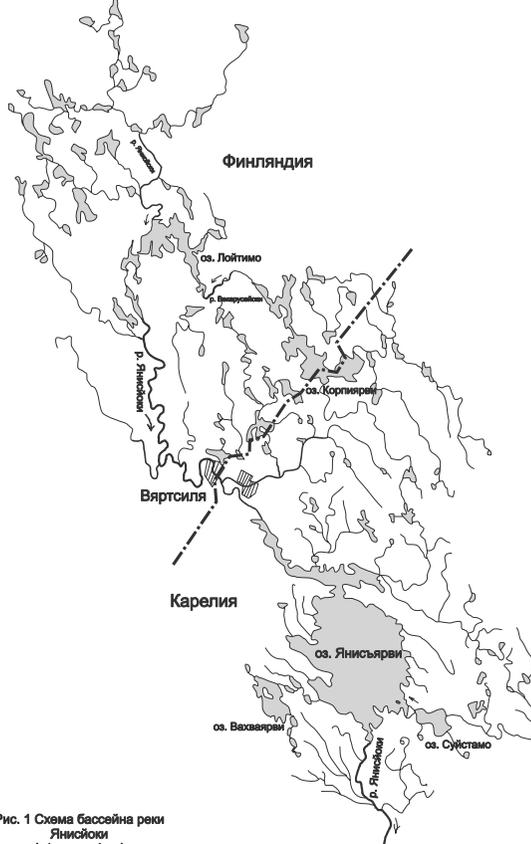


Рис. 1 Схема бассейна реки Янисйоки (в 1 см ок. 4 км)

См. Рис. 2 (продолжение)

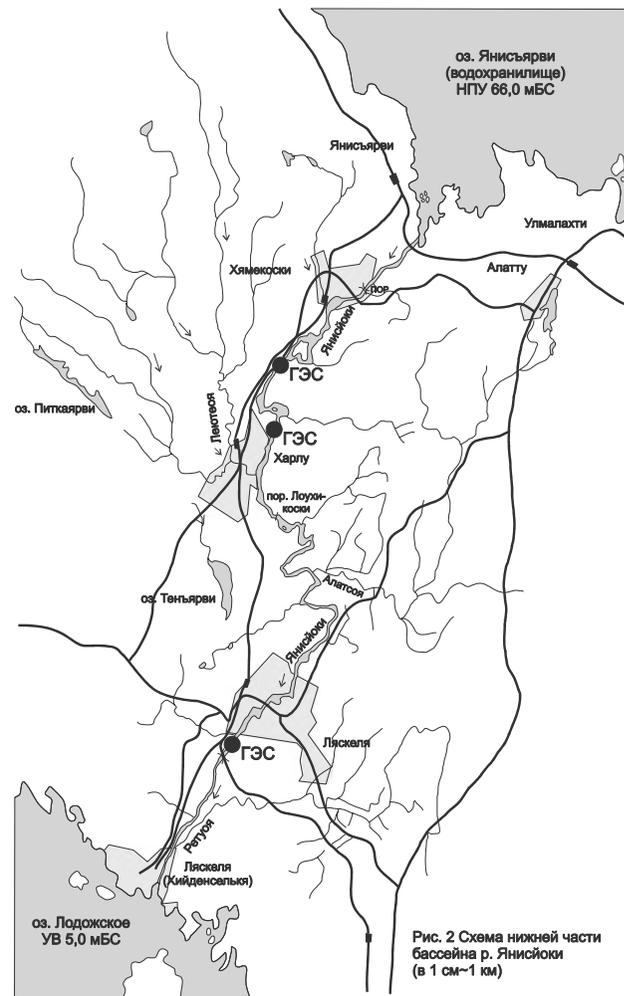


Рис. 2 Схема нижней части бассейна р. Янисйоки (в 1 см–1 км)

Таблица 1

Основные сведения о водотоках и водоемах бассейна р. Янисйоки (по: [17])

Название водного объекта	Куда впадает и с какого берега	Расстояние от устья, км	Длина водотока, км	Площадь водосбора, км ²	Притоки длиной менее 10 км		Озера на водосборе	
					кол-во	общая длина, км	кол-во	общая площадь, км ²
Янисйоки*	зал. Халонсопя (оз. Ладожское)	–	70/126	3900	85*	158*	462*	279*
Юуванйоки*	р. Янисйоки (лв)	72	48	692	40	72	147	23,1
Канаваййоки*	р. Юуванйоки (пр)	26	7,2	361	3*	4*	73*	16,9*
Сютиверермян	оз. Корпиярви	–	24	93	17	27		
Мутанен	р. Сютиверермянйоки (пр)	3,0	32	173	23	37		
Соанйоки	оз. Янисъярви	–	19	126	54	104	33	3,4
оз. Янисъярви	протекает река Янисйоки	–	–	3660				
Вельяканйоки	оз. Янисъярви	–	18	107	31	75	27	0,8
руч. Лохьянпуро	то же	–	11		1	8		
Леппя-оя	то же	–	12		12	16		
Саркайоки	оз. Суйстамонъярви	–	22	204	20	29	129	21,0
Лаута-оя	р. Саркайоки (пр)	20	20		5	8		
Ихатсунйоки	то же	13	17		13	30		
Риэни-оя	р. Янисйоки (пр)	16	14		15	37		
Кюльмя-оя	р. Риэни-оя (пр)	0,8	10		4	10		
Алатс-оя	р. Янисйоки (лв)	12	14		11	27		
Рету-оя	то же (лв)	2,0	11		7	9		

Примечание: * – данные, приводимые для территории бывшего СССР.

Таблица 2

Основной озерный фонд бассейна р. Янисйоки [8]

Название водоема	Площадь, км ²		Отм. уровня воды, м БС	Связь с водотоками, водосбор	Площадь водосбора, км ²
	общая	зеркала			
Канаваярви	1,24	1,24	123,0	водосбор р. Юуванйоки	–
Корпиярви	(6,0)	5,93	(125)	водосбор р. Канаваййоки – притока р. Юуванйоки	
Юля-Мизлуңъярви	1,48	1,48	127,0	то же	344,1
Ала-Мизлуңъярви	1,00	1,00	125,0	то же	
Воутемъярви (Воутсиярви)	1,00	1,00	136,0	то же, протекает река Рамаййоки-Воутсенйоки	
Колосенъярви	1,54	1,54	128,0	то же	
Янисъярви	193,50	190,58	64,9	протекает р. Янисйоки	3040,6
Киэкуңъярви	2,00	2,00	(125)	водосбор оз. Янисъярви	
Вахваярви	10,60	0,67	88,1	то же	
Юля-Лампи	1,16	1,16	86,6	то же	
Пертгисьянъярви (Пертингярви)	1,00	1,00	158,0	водосбор р. Соанйоки-приток оз. Янисъярви	5,7
Соанъярви	1,14	1,14	144,8	то же	37,7
Яймьярви	2,32	2,31	91,0	водосбор р. Улмосенйоки-Саркайоки-Вахерйоки – притока р. Янисйоки	–
Суйстамонъярви	8,20	8,20	70,0		238,7
Итого	232,18	228,25	–		4090

Примечание.

1. «Каталог озер Карелии» 1959 года включает озера площадью не менее 1,0 км²; общий фонд водоемов системы реки Янисйоки в границах Карелии – 253 км².
2. «Каталог озер и рек Карелии» 2001 года [9] приводит показатели площади перечисленных озер, рассчитанные ГИС в сумме 229,9 км² (по зеркалу), плюс еще четыре озера общей площадью 4,97 км², то есть всего 18 озер – 234,9 км².
3. Озеро Корпиярви – пограничное, общая площадь 15,3/15,2 км².

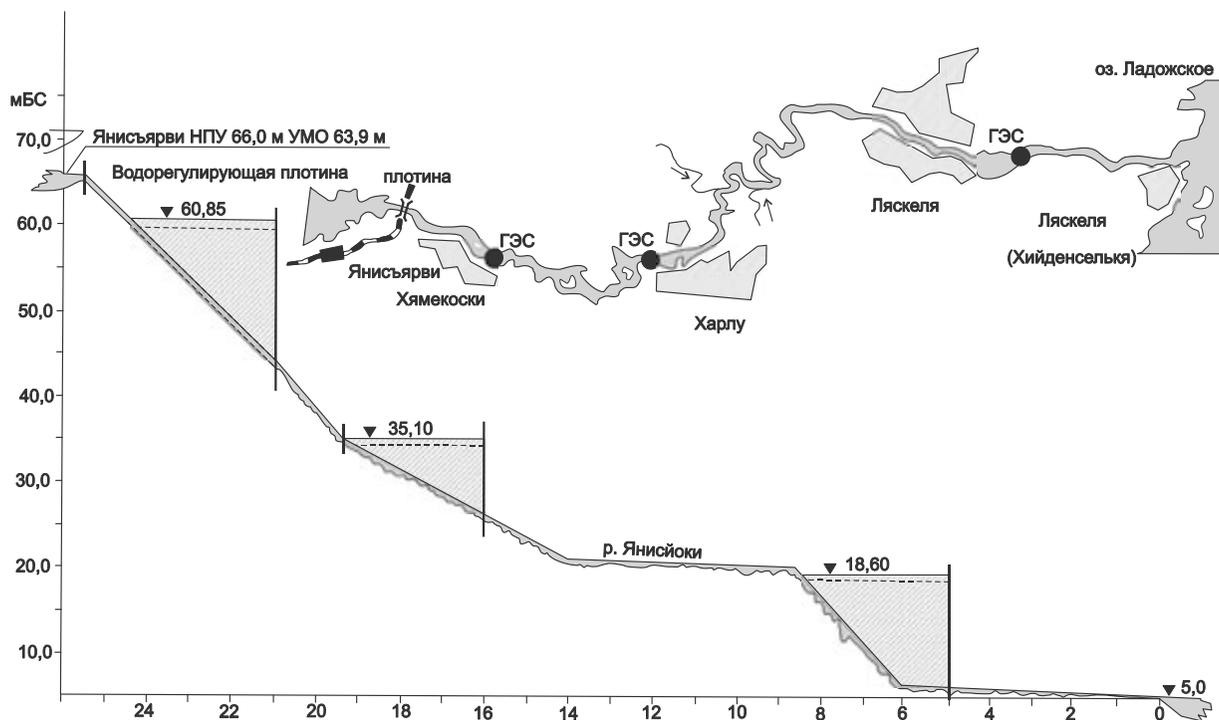


Рис. 3. Схема продольного профиля реки Янисйоки

Таблица 3
Гидрологические параметры реки Янисйоки на территории Карелии (по: [1])

Участок реки, км от устья	Длина, км	Падение, м	Площадь водосбора, км ²		Средний расход воды, м ³ /с	Примечания
			в начале участка	в конце участка		
68,6–59,8	8,8	1,51	2525	2752	29,03	
59,8–25,6	34,2	0,0	2752	3641	35,13	*
25,6–22	3,6	16,99	3641	3661	40,11	
22–19	3	15	3661	3677	40,31	
19–16,6	2,4	6	3677	3690	40,47	
16,6–14	2,6	7,4	3751	3758	41,25	
14–12	2	0,07	3758	3763	41,31	
12–8,5	3,5	0,53	3811	3820	41,92	
8,5–6	2,5	13,61	3820	3827	42,00	
6–2,3	3,7	0,39	3827	3836	42,10	
2,3–0,0	2,3	0,70	3862	3869	42,48	
	68,6	62,2	2525	3869	45,52	

Примечание:

* – оз. Янисъярви.

Расходы воды у С. А. Берсонова [1] рассчитаны по среднему модулю стока 11 л/с * км². По современным данным, модуль стока по длине реки меняется: в Финляндии – 8,9 л/с * км², средний по водосбору – 10,7 л/с * км². Имеются расхождения также в показателях площадей водосбора и расходах воды, длинах реки и ее притоков.

Бассейн реки характеризуется повышенной густотой речной сети – 0,53 км/км² при средней по Северному Приладожью 0,43 км/км². Общее падение реки – 62,2 м, причем основное (61,3 м) приходится на нижний участок

длиной 25,6 км между оз. Янисъярви и зал. Халонсопя Ладожского озера, куда впадает река (рис. 3, табл. 3).

Наибольшее значение в водном балансе р. Янисйоки имеет ее приток Юуванйоки (впадает на 72 км от устья р. Янисйоки) и притоки водохранилища Янисъярви – Соанйоки, Вельяканйоки, Улмасенйоки и другие (табл. 1 и 4). Они обеспечивают около 64 % годового стока реки в Ладожское озеро.

Таблица 4
Основные притоки р. Янисйоки на территории Карелии (по: [1])

Название реки, участка, км от устья	Длина, км	Падение, м	Площадь водосбора, км ²		Коэффициент озерности, %	Расход воды, м ³ /с	
			начало участка	конец участка		начало участка	конец участка
46,5–42,5	4	2	4,4	10,3		0,05	0,11
42,5–26,9	15,6	50	10,3	50,4		0,11	0,55
26,9–24,3	2,6	3,4	50,4	419,7		0,55	0,68
24,3–12,7	11,6	16,6	419,7	547		4,62	6,02
12,7–4,2	8,5	10	547	604,6		6,02	6,66
4,2–3,1	1,1	10	604,8	706,1		6,66	7,77
3,1–0,0	3,1	3	706,1	712,4		7,77	7,84
2. Канаваййоки	6,8	25	344,1	358,2	7,7	3,79	3,94
6,8–3,7	3,1	15	344,1	350,2		3,79	3,85

Окончание таблицы 4

3,7–0,0	3,7	10	350,2	358,2		3,85	3,94
3. Соанйоки	26	93,1	5,7	120,6	2,4	0,06	1,32
26–19	7	13,2	5,7	37,3		0,06	0,41
19–7,4	11,6	64,8	37,3	95,7		0,41	1,05
7,4–6,3	1,1	10	95,7	99,4		1,05	1,09
6,3–0,0	6,3	5,1	99,4	120,6		1,09	1,32
4. Вельяканйоки	25	70,1	12,7	115,7	0,5	0,14	1,27
25–18,4	6,6	35	12,7	43,7		0,14	0,48
18,4–17,1	1,3	10	43,7	49,3		0,48	0,54
17,1–13,4	3,7	10	49,3	71,3		0,54	0,78
13,4–4,5	8,9	10	71,3	107,6		0,78	1,18
4,5–0,0	4,5	5,1	107,6	115,7		1,18	1,27
5. Улма-сенйоки	31,3	39,6	1,4	243,6	7,8	0,02	2,68
31,3–28	3,3	2,5	1,4	8,1		0,02	0,09
28–20,5	7,5	12	8,1	89,5		0,09	0,99
20,5–16	4,5	6	89,5	121,8		0,99	1,34
16–12	4	0,0	121,8	151,7		1,34	1,67
12–5,7	6,3	11,3	151,7	197,8		1,67	2,18
5,7–1,7	4	0,0	197,8	235,7		2,18	2,63
1,7–0,0	1,7	7,8	238,7	243,6		2,63	2,68

Среди других притоков Северного Приладожья, начиная от р. Хитола (Асиланйоки, Кокколанйоки) и включая р. Эняйоки (Майналанйоки, Анаеги), р. Янисйоки обеспечивает в среднем 31 % речного стока в Ладогу (табл. 5), выделяясь повышенными расходами в зимний период в результате регулирования стока в интересах гидроэнергетики.

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ

Гидрологический режим р. Янисйоки формируется преимущественно естественными условиями водосбора на территории Финляндии (верхний участок течения) и под воздействием техногенных факторов – в Карелии. Здесь расположены озеро-водохранилище Янисъярви и промышленные узлы: Вяртсиля (пограничная зона) и Ляскельский (нижнее течение реки).

По условиям питания реки региона относятся к смешанному типу с преобладанием снегового. Среднее количество осадков составляет около 650 мм в год, в верховьях рек Уукса и Тулема достигает 750 мм, в бассейне р. Янисйоки – в среднем 625 мм. Испарение с водной поверхности не превышает 400 мм, то есть регион относится к зоне избыточного увлажнения.

Всхолмления, окаймляющие Ладожское озеро с севера, защищают северное побережье от холодных северных ветров. Преобладание теплых южных и юго-западных ветров и влияние огромной массы воды Ладожского озера (908 км³) значительно смягчают климат Северного Приладожья. Здесь сформировался наиболее теплый район Карелии со среднегодовой температурой воздуха выше +3 °С при средних температурах зимы –9... –12 °С, а в июле +16,7 °С.

Таблица 5

Водные ресурсы р. Янисйоки и других рек региона

Водосбор группы рек Северного Приладожья и р. Янисйоки	Годовой сток, км ³		Сезонное распределение, %			
	средний	95 % обеспеч.	весна	лето	осень	зима
1. От западной границы с Лен. областью до р. Янисйоки (F = 5,03 тыс. км ²)	1,34	0,8	52	9	23	16
2. Р. Янисйоки (F = 4,09 тыс. км ²)	1,32	0,81	30	17	23	30
3. От р. Янисйоки до дер. Погранкондуши (F = 4,45 тыс. км ²)	1,63	1,02	47	10	25	18

Примечание. Здесь и далее в тексте F – площадь водосбора.

Период активной вегетации с температурой воздуха (эквивалентно и поверхностных вод) выше 5 °С в Приладожье составляет 160 дней с общей суммой температур до 1970 °С (Сортавала). Безморозный период длится в среднем 120–140 дней. Как летом, так и зимой бывают вторжения теплых и влажных воздушных масс с запада и юго-запада. Наибольшее влияние Ладожского озера сказывается на прибрежной полосе от 3 до 10 км шириной в зависимости от рельефа. Летом здесь наблюдаются бризы и ход температур сглажен.

Три плотины ГЭС на р. Янисйоки построены на рубеже XIX–XX веков и функционируют поныне, выше Хямекоски имеется четвертая плотина, регулирующая сток из водохранилища Янисъярви. В общей сложности на трех гидроузлах ГЭС используется 35,2 м падения реки: Хямекоски – 11,6 м (21 км от устья), Харлу – 10,0 м (16 км), Ляскеля – 13,6 м (5 км).

Перед плотинами в р. Янисйоки глубины достигают 20 м, на других же участках они не превышают 4 м, чередуясь с мелководными порогами и перекатами. Берега и русло большей частью каменистые, местами – галечно-песчаные и глинистые.

Природное качество воды относительно сохранилось на части водосбора выше истока реки из Янисъярви и на территории Финляндии. В погранзоне негативную роль в формировании качества воды играет р. Юуванйоки, принимающая сточные воды пгт Вяртсиля (БОС ЖКХ) и ЗАО «Вяртсильский метизный завод» (очистных сооружений нет). Разбавление загрязненных вод и нейтрализация их токсичности происходят в водохранилище Янисъярви с объемом водной массы 2,25 км³ [14] и многочисленными притоками.

Вторым и главным источником загрязнения р. Янисйоки является Ляскельский промузел,

расположенный на двух площадках: в п. Харлу и п. Ляскеля. Целлюлозно-бумажное производство, лесозавод и лесосплав (закончен в 1975 году) плюс каскад ГЭС радикально трансформировали нижний участок реки по всем гидрологическим и гидрохимическим параметрам. Однако в настоящее время экологическая ситуация здесь несколько улучшилась в результате перепрофилирования производства и ряда других мероприятий. Более подробно об этом говорится ниже.

В гидрохимическом отношении вода р. Янисйоки принадлежит к смешанному гидрокарбонатно-сульфатному классу с существенной долей анионов органических кислот и преобладанием ионов кальция среди катионов. Величина минерализации, а также ионный состав воды реки в летний, осенний и зимний сезоны существенно не отличаются, тогда как весной отмечены значительные изменения. В целом состав воды указывает на преобладание атмосферного питания реки и низкую долю подземного. Повышенное содержание сульфата и высокие значения БПК, очевидно, связаны с техногенным влиянием [23].

По нормативным показателям (ГОСТ 17.1.2.04.77) и гидробиологическим данным воды реки относятся к классу «загрязненных» бета мезосапробных (слабое сапробное загрязнение) (табл. 6 и 7).

Таблица 6

Трофо-сапробная характеристика р. Янисйоки по гидробиологическим данным

Таксономические группы гидробионтов	Количество видов	Биомасса	Преобладающие группы гидробионтов	Индекс сапробности по Пантле – Буку
Фитопланктон (летний)	113	0,32–0,92 г/м ³	Bacillariophyta, Cryptophyta	1,6–2,0
Зоопланктон	26	0,88–18,8 мг/м ³	Rotatoria, Cladocera	1,58–1,79
Зообентос	9	0,16–30,6 г/м ²	Oligochaeta	1,75–2,10

Примечание. Показатели фитопланктона приведены по данным И. С. Трифионовой и О. А. Павловой [23], зоопланктона и бентоса – по данным Л. П. Рыжкова [19].

Таблица 7

Химический состав воды в озерно-речной системе р. Янисйоки (по: [20])

Ингредиенты	Показатели	
	Минимум	Максимум
Реакция рН	5,90	6,80
Цветность, градусы	26	190
Окисляемость перманганатная, мг О ₂ /л	3,80	23,70
БПК, мг О ₂ /л	0,10	3,50
NH ₄ , мг N/л	0,06	0,55
NO ₃ , мг N/л	0,02	0,23
Фосфор общий, мкг P/л	3,00	47,00
Фосфор минеральный, мкг P/л	1,00	40,00
SO ₄ , мг/л	4,60	9,10

В большей степени загрязнен участок реки в районе п. Вяртсиля. Предприятием ЗАО «Вяртсильский метизный завод» в 2006 году превышались лимиты водопользования: по взвешенным веществам – в 3 раза, БПК₅ – 11, иону алюминия – 15, нитратам – 28, марганцу – 48, нефтепродуктам – в 9 раз, и по другим ингредиентам. Отмечен экстремальный показатель рН, равный 4,11 в феврале и 4,41 – в сентябре 2006 года [7]. Индекс УКИЗВ (удельный комбинаторный индекс загрязнения воды по 14 ингредиентам) для воды реки Юуваниоки, притока Янисйоки, составил 1,74, что соответствует классу «3а» (загрязненные воды).

ТРАНСФОРМАЦИИ ВОДНОЙ СИСТЕМЫ

Трансформация водной системы р. Янисйоки началась на рубеже XIX–XX веков, когда в 1885 году в Ляскеля был основан целлюлозно-бумажный завод, а в 1915 году на базе оз. Янисъярви было создано водохранилище многолетнего регулирования. Первая ГЭС «Хямекоски» построена в 1903 году, две другие – в 1930-е годы (табл. 8, рис. 3).

ГЭС «Ляскеля» работала изолированно на нужды бумажной фабрики и располагалась на территории последней. В связи с физическим и моральным износом производственных мощностей и в целях улучшения экологической обстановки Ляскельский ЦБЗ в 1980-е годы был закрыт на реконструкцию, производство бумаги возобновилось в 1998 году.

Плотина регулирующего сооружения в истоке р. Янисйоки из водохранилища Янисъярви рассчитана на максимальный напор 3 м. Ее полная водопропускная способность составляет 350 м³/с. Полезный объем водохранилища в пределах отметок НПУ 66,0 м и УМО 63,9 м БС равен 0,41 км³. Однако проектные отметки амплитуды

Таблица 8

Основные характеристики каскада ГЭС на р. Янисйоки (по данным Ленгидропроекта и «Карелэнерго»)

Параметры	Единицы измерения	Каскады ГЭС		
		Хямекоски	Харлу	Ляскеля
Створ плотины	км от устья	21	16	5
Отметка НПУ	м БС	60,85	35,10	18,60
Отметка УМО	м БС	59,85	34,10	17,60
Полезная емкость водохранилища	тыс. м ³	15	70	140
Установленная мощность	МВт	6,5	3,8	1,2/3,7
Расчетный напор	м	17,9	11,5	(13,5)
Макс. пропускная способность ГЭС	м ³ /с	45	48	37
Среднегодовая выработка энергии	млн кВт*ч	29	23	9/29

Примечание. ГЭС «Ляскеля»: в знаменателе мощность с учетом работы дефибреров бумажной фабрики.

Таблица 9
Внутригодовое распределение стока
р. Янисйоки [15]

Сезоны	Средний многолетний приток в Янисъярви, % от годового	Сток маловодного года, 95%-й обеспеченности, % от годового
Весна (май – июнь)	39	47
Лето (июль – сентябрь)	16	21
Осень (октябрь – ноябрь)	17	10
Зима (декабрь – апрель)	28	22

уровня не соблюдались, и в многолетнем разрезе колебания его достигают 3,44 м. Обычно каждый апрель, а в годы малой водности практически круглый год, устанавливаются запредельно низкие уровни воды, ниже УМО. Наибольшие подъемы уровней (до 66,5 м) наблюдаются в октябре – ноябре, что совершенно аномально для естественного режима водности.

Средние показатели отметок уровня воды в Янисъярви по сезонам года следующие: весна (май – июнь) – 64,72 м, лето (июль – сентябрь) – 64,58 м, осень (октябрь – ноябрь) – 64,39 м, и зима (декабрь – апрель) – 64,18 м БС. Отсюда средний годовой уровень имеет отметку 64,44 м БС. При этом возникает иллюзия стабильности уровня, но, как показано выше, это далеко от реального режима.

Большинство карт дают изображения Янисъярви на отметке уровня 64 м (площадь 189 км²). Норма годового стока р. Янисйоки из водохранилища составляет 43,0 м³/с, внутригодовое распределение показано в табл. 9.

Среднегодовой расход многоводного года обеспеченностью 5 % равен 56,0 м³/с, маловодного года обеспеченностью 95 % составляет 27,7 м³/с. Средний объем стока в весеннее половодье – 0,45 км³.

Полезная емкость собственных водохранилищ ГЭС позволяет осуществлять только ограниченное суточное регулирование. Каскад ГЭС по сути втрое перерабатывает весь сток р. Янисйоки. Из верхнего бьефа ГЭС «Харлу» круглогодично производится водозабор для производственных нужд с расходом до 0,44 м³/с.

Таким образом, главным водопользователем в бассейне р. Янисйоки является гидроэнергетика с основным водохранилищем на базе оз. Янисъярви и гарантированным расходом 29,0 м³/с через регулируемую плотину. В период с июня по ноябрь водохранилище сбрасывается с расходом не менее гарантированного. Холостые сбросы сверх расхода 45 м³/с в этот период запускаются при наполнении водохранилища до отметки 66,0 м с притоком в него более 45 м³/с. После заполнения водохранилища холостые сбросы сверх пропускной способности турбин ГЭС «Хямекоски» (45 м³/с)

производятся с расходами не более 300 м³/с. Форсированный уровень водохранилища – на отметке 66,40 м БС.

До 1975 года регулирование стока р. Янисйоки осуществлялось с учетом требований лесосплава, в настоящее время они исключены.

2. АНТРОПОГЕННЫЕ НАГРУЗКИ НА ВОДНУЮ СИСТЕМУ Р. ЯНИСЙОКИ

Бассейн р. Янисйоки занимает часть территории восточной Финляндии (2120 км², губерния Северная Карелия) и три административных района Республики Карелия: территория, подчиненная мэрии г. Сортавала (445 км²), Суоярвский район (1180 км²) и Питкярантский район (345 км²). Озеро-водохранилище Янисъярви расположено на стыке границ всех трех районов.

Население карельской территории бассейна реки составляет 10–11 тыс. человек. Оно сконцентрировано в двух промзонах: на границе с Финляндией – в п. Вяртсиля (около 3000 человек) и в населенных пунктах Янисъярви (железнодорожный узел), Хямекоски (ГЭС), Харлу, Ляскеля (два поселка, расположенных по берегам нижнего течения реки, население – около 7 тыс. человек). Здесь размещены старейшие предприятия: бумажная фабрика «Ляскеля» и ЦБК «Харлу», объединенные в 1958 году в одно предприятие – Ляскельский ЦБК, Ляскельский лесозавод, Вяртсильский металлургический завод (ЗАО «Вяртсильский метизный завод»), каскад ГЭС установленной мощности изначально 8,7 МВт, в настоящее время – 11,5 МВт. По реке Янисйоки в течение 80 лет (до 1975 года) проводился молевой лесосплав в объемах 140–205 тыс. м³ в год. Регулирование стока реки осуществлялось в интересах гидроэнергетики и лесосплава по согласованному графику. Четыре гидроузла с плотинами были построены в 1890–1910-е годы, в последующем они претерпевали разрушение, восстановление и реконструкцию.

Водные ресурсы р. Янисйоки служат общим источником водоснабжения хозяйственных объектов и населения, одновременно – приемником сточных вод и других антропогенных отходов (табл. 10 и 11), а также используются для выработки электроэнергии каскадом ГЭС.

В хозяйственном аспекте район бассейна реки классифицируется как промышленно-энергетический. Из общего объема водопотребления 94–95 % приходится на промышленность и лишь 1 % – на сельское хозяйство, которое в целом по Карельскому Приладожью значительно развито.

Основные объемы воды расходуются в промузлах Вяртсиля и Харлу – Ляскеля. Общее водопотребление, соответственно, и сброс сточных вод сократились примерно на 6 млн м³ в год в результате реконструкции Ляскельского промузла. Однако в зоне п. Вяртсиля из-за отсутствия очистных сооружений на метизном заводе продолжается загрязнение р. Юуванийоки – притока

Таблица 10
Характеристика водного хозяйства
в бассейне р. Янисйоки [5]

Характеристики	Показатели по районам		Доля (%) от общего по:		
	бассейн Янисйоки	Северное Приладожье	бассейну Янисйоки	Северному Приладожью	Республике Карелия
Площадь, тыс. км ²	1,88	27,6	100,0	6,82	1,04
Плотность населения, чел./км ²	5,8	4,8	–	–	–
Водные ресурсы стока 95%-й обеспеченности, км ³	0,87	4,48	–	19,4	2,48
Водопотребление общее, млн м ³ , в том числе:	12,9	53,0	–	23,7	4,42
коммунально-бытовое	0,49	6,73	3,9	1,3	0,69
промышленное	11,84	29,50	94,3	40,1	6,3
сельскохозяйственное	0,12	1,90	1,0	6,3	1,3
Гидроэнергетика, попуски воды, км ³ /год	0,80	1,14	–	70,2	3,9
Рекреация, нагрузка в тыс. чел.-дней	18,1	957	–	1,9	0,44

Таблица 11
Водоотведение (млн м³) в бассейне
р. Янисйоки в 1980 году (по: [5])

Промышленные узлы	Всего	В том числе			Расход воды в системах водоснабжения	
		загрязненные	нормативно чистые, без очистки	прошедшие очистные сооружения	оборотный	повторного
Харлу	8,24	3,05	–	5,19	5,69	1,19
Ляскеля	1,80	1,80	–	–	9,08	0,05
Вартсила	1,73	1,32	0,40	–	–	–
Общий сброс в реку Янисйоки	11,90	6,31	0,40	5,19	–	–

Янисйоки. Этот водоток многие годы входит в число самых загрязненных в Карелии. Объем сброса сточных вод метизного завода 0,9–1,0 млн м³/год с показателями превышения лимитов водопользования в разы (см. выше). Кроме того, около 1 тыс. т загрязняющих веществ выбрасывается в атмосферу. Это – окалина, соли тяжелых металлов и др. Лишь благодаря впадению водотока в водохранилище Янисъярви загрязнение от п. Вартсила нейтрализуется. Этому способствуют достаточно высокий водообмен (ПУВ около 3,5) в северной части водоема (Малое Янисъярви) и большой общий объем водных масс – 2,25 км³.

Качество воды в р. Янисйоки постепенно улучшается, по химическим показателям приближается к природным водам класса бета-олигосапробных [21].

Начавшийся рост промышленного производства и услуг населению сопровождается эквивалентным увеличением водопотребления и водоотведения, объемы которых, очевидно, в ближайшей перспективе превысят уровень 1980-х годов.

Среди водопользователей в бассейне р. Янисйоки главенствует энергетика с основным водохранилищем многолетнего регулирования Янисъярви полезным объемом 0,41 км³ и энергетическими попусками воды 0,80 км³ при среднемноголетнем стоке реки 1,35 км³ в год. Практическое отсутствие фактора загрязнения окружающей среды при эксплуатации объектов гидроэнергетики не является аргументом в пользу распространенного мнения об экологической безопасности этой отрасли хозяйства. Напротив, многочисленные исследования и опыт эксплуатации ГЭС ([3], [12], [13], [18], [11] и мн. др.) однозначно свидетельствуют, что при всей положительной социально-экономической значимости гидроэнергетики она оказывает на водные и околосводные экосистемы сильное многофакторное воздействие, существующее постоянно и возрастающее по мере увеличения срока эксплуатации гидротехнических сооружений.

Видный исследователь водных ресурсов Карелии С. В. Григорьев считал главным фактором изменения природы вод Карелии использование рек и озер в энергетических целях. Трансформация гидрографии и гидрологического режима ведет к формированию новых водных биоценозов, разбалансированных и крайне неустойчивых экосистем. Характерным примером является экосистема р. Янисйоки.

Озерно-речная система р. Янисйоки имеет наибольший рыбохозяйственный потенциал среди других водных систем Карельского Приладожья. Однако практическое использование водных ресурсов здесь развито слабо: промысел отсутствует, рыболовство представлено в любительской и потребительской формах. В 1950–70-х годах на притоке Янисъярви в местечке Улмалахти работал Северо-Ладожский лососевый рыболовный завод, на базе которого позднее функционировала научно-экспериментальная база института СеврЫбНИИпроект (ныне СевНИИРХ). В настоящее время на этой площадке создано форелевое хозяйство – ООО «Янисъярви», выпускающее до 100 т товарной рыбы в год.

3. РЫБОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ЦЕННОСТЬ ВОДНОЙ СИСТЕМЫ Р. ЯНИСЙОКИ

Техногенно-трансформированный гидрологический режим р. Янисйоки с параллельным загрязнением сточными водами и отходами лесосплава на протяжении сотни лет привел к созданию в нижнем течении реки совершенно неблагоприятных условий для обитания и воспроизводства гидробионтов. Более того, река оказывает негативное влияние на качество воды и донных отложений в приустьевом районе Ладожского озера на площади более 10 км² ([22], [7] и др.).

Если загрязнение водных масс выражено локально и постепенно ослабевает, то в этих зонах донные отложения характеризуются повышением концентраций вредных веществ и увеличением площади их распределения ([16] и др.). Высокий уровень накопления токсикантов в донных отложениях ведет к интенсивной аккумуляции их в гидробионтах на всех трофических уровнях, в конечном счете – в рыбах, вызывая токсикозы и заболевания. При этом сокращаются площади нерестилищ и жизнеспособность производителей, икры и молоди рыб. В результате сокращаются промысловые запасы.

В XIX веке р. Янисйоки считалась лучшей лососевой рекой Северного Приладожья. Большинство производителей стад озерного лосося размножались в самой реке, часть особей, пройдя оз. Янисъярви, поднимались в два его притока – Келокоски и Соанйоки [25]. После постройки четырех плотин, размещения по берегам целлюлозно-бумажного и деревообрабатывающего производств, проведения лесосплава к 1960-м годам река ниже истока из Янисъярви стала непригодной для воспроизводства лососевидных и ряда других видов рыб. Исходная популяция лосося местных стад исчезла.

По факту сложившейся экологической обстановки, согласно ГОСТ 17.1.2.04-77, нижнее течение р. Янисйоки и участок зоны влияния п. Вяртсиля относятся ко второй категории рыбохозяйственного пользования. Остальная часть водной системы, включая водохранилище Янисъярви, имеет статус первой категории с участками высшей (особой) категории.

По материалам комплексных исследований [19], на всем протяжении р. Янисйоки воды имеют светло-желтый цвет, высокую насыщенность кислородом (до 93 %) и слабокислую реакцию (рН 6,50–6,55). Содержание органических веществ тесно связано с антропогенным влиянием. По выходе из оз. Янисъярви цветность вод снижается от 114 до 84 градусов. Перманганатная окисляемость колеблется около 10,9 мг О₂/л; ниже Ляскельского ЦБЗ ее величина возрастает до 16,4 мг О₂/л, БПК₅ равняется 1,13–1,83 мгО₂/л; БПК₂₀ – 2,44–2,95 мгО₂/л. Среди азотистых соединений значительно преобладает аммонийный азот (0,13–0,42 мгN/л), причем его показатели уменьшаются по мере приближения к устью реки. Количество нитратов, наоборот, имеет тенденцию увеличиваться в направлении к устью (0,11–0,21 мгN/л). В доле промышленного и сельскохозяйственного влияния возрастает содержание фосфора до 0,013 мг P/л, сульфатных ионов (6,3 мг/л). Минерализация вод реки не превышает 60 мг/л, составляя в среднем 22,3 мг/л. Следует отметить тенденцию улучшения качества речных вод в нижнем участке от оз. Янисъярви.

Кормовая база для рыб в р. Янисйоки достаточно благоприятная: биомасса зоопланктона колеблется от 0,88 до 18,8 мг/м³ с преобладанием коловраток и клadoцер, биомасса бентоса изменяется от 0,16 до 30,57 г/м² с доминированием оли-

гохет [19]. Однако использование главного речного участка в рыбохозяйственных, спортивных и других целях в настоящее время нецелесообразно вследствие причиняемого рыбным ресурсам ущерба антропогенным воздействием. В то же время в состав озерно-речной системы Янисйоки входит крупный водоем Янисъярви (200 км²) и ряд малых озер, связанных речной сетью и населенных ценной ихтиофауной (форели, сиг, судак, язь, ряпушка, лещ). Они представляют определенный интерес как рыбохозяйственные угодья.

Ихтиофауна водной системы Янисйоки насчитывает не менее 19 видов, из которых 18 встречаются в оз. Янисъярви: лосось, сиг, ряпушка, корюшка, щука, плотва, язь, лещ, укля, елец, судак (интродуцирован), налим, окунь, ерш, густера, озерная форель, голянь, угорь. В речной сети и малых водоемах бассейна состав рыб беднее, обычно не превышает 8–10 видов, но здесь встречается ручьевая форель.

Естественная рыбопродуктивность, рассчитанная по методике С. П. Китаева [10], составляет в оз. Янисъярви 7,2 кг/га (средняя для Большого и Малого Янисъярви), в малых озерах системы средняя рыбопродуктивность – 9,5 кг/га, в речной сети вне зоны антропогенного влияния – порядка 10,5 кг/га, и на техногенно трансформированных участках – не более 5,0 кг/га. В целом по бассейну промысловый запас рыб оценивается величиной 450–460 т, большая часть (300–310 т) приходится на Янисъярви.

Особого внимания заслуживает популяция озерного лосося в Янисъярви.

По оценке В. А. Валетова, к началу XX века стадо лосося р. Янисйоки насчитывало до 2,5 тысячи нерестующих производителей, в 1920–30-е годы оно снизилось до 750–500 особей, а к концу 1950-х было уничтожено. Ориентировочная площадь нерестово-выростных угодий здесь составляла 15 га, действующих на сегодня – не более 0,3 га на верхнем участке. Последние используются исключительно лососем популяции оз. Янисъярви.

У лосося Янисъярви отмечена уникальная нерестовая миграция спускного типа в реку Янисйоки, вызванная, вероятно, недостатком участков для нереста в притоках озера. По данным Д. Г. Вебер [4], нерестилище лосося расположено в истоке Янисйоки. По наблюдениям В. А. Валетова [2], некоторые производители спускаются еще ниже по течению, проходя плотину ГЭС в п. Хямекоски, и размножаются на подплотинных галечниках. С этих участков смолты могут мигрировать лишь вниз по течению. Но прохождение через две действующие плотины и агрегаты ГЭС, а также губительное воздействие отходов целлюлозно-бумажного производства, скопившихся на дне реки от Харлу до устья, не оставляют никаких надежд на их выживание. Однако имеются данные (вылов лосося массой 100–200 г), позволяющие предположить, что часть смолтов остается на нагул в плесовых участках реки между плотинами Хямекоски и Харлу. При этом есть вероятность воз-

никновения речной группировки лосося, весь жизненный цикл которого проходит в реке [2].

В настоящее время численность лосося в оз. Янисъярви не превышает 200 производителей. Нагульный период составляет 1–5 лет, чаще всего 2–3 года. Нерестится в конце октября – начале ноября в реках Улмасенйоки, Соанйоки, Келокоски и Янисйоки. В последнюю реку спускается через водорегулирующую деревянную плотину. Суммарная площадь нерестилищ лосося оценивается в 2,6 га, из них 1,8 га – в Соанйоки. За счет технической мелиорации НВУ можно увеличить в 2–3 раза, что, несомненно, положительно скажется на численности лосося [19].

В 1960–70-е годы в Янисъярви выпускался разновозрастной судак, который благополучно нагурился и сформировал промысловое стадо величиной 7–8 т. Кроме судака имели место неплановые выпуски молоди лососевых и сиговых рыб с бывшего Северо-Ладожского рыбобродного завода.

Самая распространенная рыба в Янисъярви – окунь, который вместе с судаком занимает ведущее место в уловах. Другие промысловые виды – сига, ряпушка, щука, корюшка. Общий допустимый улов (ОДУ) в Янисъярви – 50–55 т, а по мнению Л. П. Рыжкова [19], может достигать 70 т без садкового рыбоводства, в основном за счет ряпушки (28 %), корюшки (16 %), леща (13 %) и судака (11 %). Однако следует учесть, что корюшка и ряпушка являются главной пищей двух конкурирующих хищников – судака и нагульного лосося, популяции которых в Янисъярви небольшие. Целенаправленное снижение их кормовой базы – один из основных факторов, лимитирующих увеличение численности популяции.

Среди других озер бассейна (суммарная площадь – 7,9 тыс. га) наиболее крупные – Суй-

стамо (806 га) и Вахварви (998 га) – могут войти в число промысловых как резерв фонда. Но, очевидно, в естественном современном состоянии они более приемлемы для рекреационного рыболовства и аквакультуры. По нашей оценке, ОДУ всех малых водоемов бассейна – до 20 т рыбы. Речная сеть в экологическом отношении функционирует преимущественно как НВУ и пути миграций гидробионтов. Нагульные площади водотоков озерно-речной системы Янисйоки составляют примерно 2,5 % от общего зеркала вод бассейна, то есть их роль в приросте биомассы водных сообществ невелика.

Участок Янисйоки ниже плотины ГЭС «Ляскеля» служит местом нагула и нереста небольшого стада леща. Заход озерно-речного сига прекратился с 1930-х годов, а корюшки – с 1950-х годов. В 2 км от устья впадает левый приток Рету-оя, куда ранее заходил лосось на нерест [4]. Большинство притоков р. Янисйоки и водохранилища Янисъярви сохранили нормальные условия для воспроизводства всех видов местной ихтиофауны. Исключение – нижний участок р. Юуваниоки и место ее впадения в р. Янисйоки, испытывающие заметное загрязнение от п. Вяртсиля.

В целом водная система р. Янисйоки в ее средней части и в первую очередь водохранилище Янисъярви заслуживают большего внимания в рыбохозяйственном отношении. Хорошие подъездные пути, обеспеченность электроэнергией, повышенная плотность населения и живописная местность создают здесь благоприятные условия для организации рекреационного хозяйства с промысловым и оздоровительным отдыхом, туризмом на базе соответствующей инфраструктуры. Целесообразно и промысловое освоение рыбных ресурсов бассейна.

ПРИНЯТЫЕ В ТЕКСТЕ СОКРАЩЕНИЯ И АББРЕВИАТУРЫ

БПК – биохимическое потребление кислорода при окислении растворенного органического вещества в аэробных условиях: БПК₅ – в течение 5 суток, БПК₂₀ – в течение 20 суток или полное окисление (потребление)

м БС – отметки поверхности (уровня) в Балтийской системе высот (абсолютные)

ГИС – географическая информационная система

ГосНИОРХ – Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства (Санкт-Петербург)

ИВПС – Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН (Петрозаводск)

ИОЗ РАН – Институт озераведения РАН (Санкт-Петербург)

НВУ – нерестово-выростные угодья (для рыб)

НПУ – нормальный подпорный уровень (в водохранилище)

ОВ – органические вещества

ОДУ – общий допустимый улов

ПАВ – поверхностно-активные вещества, обладающие моющими, смачивающими, эмульгирующими и другими адсорбирующими свойствами

ПДК – предельно-допустимая концентрация

ПУВ – показатель условного водообмена

РК – Республика Карелия.

УКИЗВ – удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (введен ГХИ в 2002 году: РД 52.24.643-2002)

УМО – уровень мертвого объема (в водохранилище)

ХПК – химическое потребление кислорода при окислении содержащихся в воде органических и неорганических веществ под действием окислителей

ЦБП – целлюлозно-бумажная промышленность

ЦБЗ – целлюлозно-бумажный завод

ЦЗ – целлюлозный завод

ЦФ – целлюлозная фабрика

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берсонов С. А. Водноэнергетический кадастр Карельской АССР. М.; Л.: АН СССР, 1960. 407 с.
2. Валетов В. А. Лосось Ладожского озера (биология, воспроизводство). Петрозаводск: Изд-во КГПУ, 1999. 91 с.
3. Васильев Ю. С., Хрисанов Н. И. Экономические аспекты гидроэнергетики. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. 248 с.
4. Вебер Д. Г. Река Янисйоки (бассейн Ладожского озера) и условия существования в ней лосося: Дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 1953. 189 с.
5. Водное хозяйство Карельского Приладожья. Петрозаводск: Кар. Фил. АН СССР, 1985. 129 с.
6. ГОСТ 17.1.2.04-77. Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов. М.: Госстандарт СССР, 1977. 17 с.
7. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2006 году / Министерство сельского, рыбного хозяйства и экологии РК. Петрозаводск: ИД «Карелия», 2007. 308 с.
8. Каталог озер Карелии / С. В. Григорьев и Г. Л. Грицевская. М.; Л.: АН СССР, 1959. 239 с.
9. Каталог озер и рек Карелии / Под ред. Н. Н. Филатова и А. В. Литвиненко. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. 290 с.
10. Китаев С. П. Ихтиомасса и рыбопродукция малых и средних озер и способы их определения. СПб.: Наука, 1994. 176 с.
11. Кудерский Л. А. Разработка стратегии оптимизации функционирования экосистем зарегулированных рек. СПб.: ГосНИОРХ, 1992. 142 с.
12. Лашков А. С., Постоев В. С. Почему гибнут реки // Природа и человек. 1988. № 4. С. 42–45.
13. Лукьяненко В. И. Влияние гидростроительства на воспроизводство промысловых рыб // Вестник АН СССР. 1989. № 12. С. 50–59.
14. Озера Карелии. Природа, рыбы и рыбное хозяйство: Справочник. Петрозаводск: Гос. изд-во КАССР, 1959.
15. Основные положения правил использования водных ресурсов каскада водохранилищ на р. Янис-Йоки (Янис-Ярви, Хяме-Коски, Харлу и Ляскеля). РВ-126-64 / Госземводхоз РСФСР, утв. 14.05.1964. 15 с.
16. Перевозников М. А. Богданова Е. А. Тяжелые металлы в пресноводных экосистемах. СПб.: ГосНИОРХ, 1999. 228 с.
17. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Т. 2. Карелия и Северо-Запад. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 700 с.
18. Романенко В. Д., Оксик О. П., Жукин В. Н. и др. Экологическая оценка воздействия гидротехнического строительства на водные объекты. Киев: Наукова думка, 1990. 124 с.
19. Рыжков Л. П. Озера бассейна Северной Ладоги. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1999. 204 с.
20. Рыжков Л. П., Ильмаст Т. Б. Состояние озерно-речных систем бассейна Северной Ладоги и ихтиофауна. // Ладожское озеро. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2000. С. 291–297.
21. Современное состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1992–1997 гг. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1998. 188 с.
22. Токсикологическая оценка предприятий ЦБК Карельской АССР: Отчет о НИР / Науч. рук. Волков И. В., Горбачев С. А. Архив СевНИИРХ, 1987.
23. Трифонова И. С., Павлова О. А. Оценка трофического состояния притоков Ладожского озера и Невы по фитопланктону // Водные ресурсы. 2004. Т. 31. № 6. С. 732–741.
24. 20 лет советско-финляндскому сотрудничеству по пограничным водным системам / Совместная советско-финляндская комиссия по использованию пограничных водных систем. Helsinki: Valtion painatuskeskus, 1968. 25 с.
25. Jä ä s k e l ä i n e n V. 1926. Jänisjärven kalataloudelliset olot ja toimenpiteet niiden parantamiseksi // Viipainos Rajaseutu. № 11–12. S. 1–4.

АНДРЕЙ ВИКТОРОВИЧ КОРОСОВ

доктор биологических наук, профессор кафедры зоологии и экологии эколого-биологического факультета ПетрГУ
korosov@psu.karelia.ru

ТИМУР НИКОЛАЕВИЧ ХИЛКОВ

кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии и экологии эколого-биологического факультета ПетрГУ
korosov@psu.karelia.ru

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СУТОЧНОЙ АКТИВНОСТИ ОБЫКНОВЕННОЙ ГАДЮКИ

Представлена методика изучения суточной активности обыкновенной гадюки при помощи актографа. Показаны методы анализа суточных актограмм, позволяющие дать количественную характеристику поведения гадюки.

Ключевые слова: обыкновенная гадюка, суточная активность, актограф, актограмма

На Севере перемещения обыкновенной гадюки в течение суток (суточная активность) в основном связаны с терморегуляцией. В условиях Карелии гадюка может нагреваться до оптимальной температуры (28–35 °С) только под прямыми лучами солнца или в легких укрытиях (температура субстрата и подземных убежищ много ниже). Удовлетворение потребности в тепле обслуживает комплекс поведенческих реакций на разнообразные факторы внешней среды. Ранний выход на поверхность почвы, смена убежищ во время баскинга, терпеливое пережидание временного затенения или дождя, своевременный уход в ночное укрытие – все эти акты поведения зависят от разных факторов среды и требуют пристального внимания.

Для количественного исследования поведения животных предлагается использовать актографы различных конструкций [1], [2], [3]. Эти приборы позволяют изучать реакции животных на факторы по отдельности и тем самым точно устанавливать зависимость суточной активности от условий обитания. В число основных параметров входят длительность дня и ночи, градиент и колебания температуры, освещенности, режим питания, пол, возраст, состояние здоровья особей.

В представленной работе рассмотрена технология обработки данных по суточной активности обыкновенной гадюки, полученных при лабораторных исследованиях с помощью спроектированного авторами актографа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Оригинальный актограф представляет собой длинный (деревянный или металлический) ящик (0.2 x 0.2 x 3.6 м), разделенный перегородками с узкими проходами для змей на четыре камеры, каждая из которых соответствует одному из четырех типов укрытий в природе (рис. 1, табл. 1).

Имеется возможность закрывать первые камеры, создавая условия полной темноты во всем актографе. Пол разных камер можно по отдельности нагревать, создавая определенный температурный градиент.

Каждый из отделов актографа имеет подвижный фанерный пол, способный качаться на поперечной оси. Это движение механически передается на рычаг самописца, который в течение суток отображает на бумажной ленте в виде четырех линий движения пола в каждой камере.

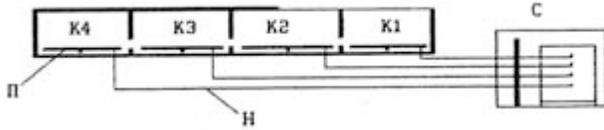


Рис. 1. Схема актографа (в разрезе). С – самописец, К – камеры, П – подвижный пол, Н – нити передачи

Таблица 1

Типы укрытий гадюки в природе и в актографе

К	Укрытие в природе	Камера актографа	Поток радиации
1	открытый участок; прямой свет	открытая	полный
2	сухая трава; ажурная полутьма	полуоткрытая	ослабленный
3	живая трава, камни; сплошная тень	закрытая	рассеянный
4	подземное укрытие; полная темнота	закрытая	нет

В качестве самописцев выступали барабаны с часовым механизмом от стандартных метеорологических гигрографов и термографов. Присутствие змеи в той или иной камере регистрируется как отклонение пера самописца от прямой линии. Совокупность этих линий дает актограмму – графическую характеристику поведения гадюки (рис. 2).

Первичная обработка суточной актограммы состоит в том, чтобы определить, в какой камере преимущественно пребывала гадюка в течение каждых 5 минут на протяжении суток (табл. 2). Интервал времени меньше 5 мин физически невозможно различить на ленте актографа длиной

30 см. Таким образом, всего в течение суток регистрировалось $24 \text{ ч} \times 60 \text{ мин} / 5 \text{ мин} = 288$ актов активности гадюки.

Дальнейшая обработка данных из табл. 2 должна состоять в их обобщении. Один вариант заключается в определении «бюджета времени» – количества минут, проведенных гадюкой в данном укрытии в течение каждого часа (табл. 3, T_t), и в определении средней продолжительности пребывания змеи в разных камерах в течение суток (табл. 3, M_T).

Помимо этого, можно рассчитать следующие два параметра (табл. 4). «Среднечасовое укрытие» – средний номер камеры пребывания гадюки в течение каждого часа (M_K) – характеризует местоположение гадюки со значениями факторов, наиболее близкими к ее потребностям. «Почасовая подвижность» – стандартное отклонение номера камеры пребывания гадюки в течение каждого часа (S_K) – отражает процесс поиска змеей оптимальных условий.

Кроме названных статистических параметров смены укрытий, ключевыми характеристиками суточной активности выступают время (момент) выхода гадюки из убежища, продолжительность активного периода и момент окончательного ухода в убежище.

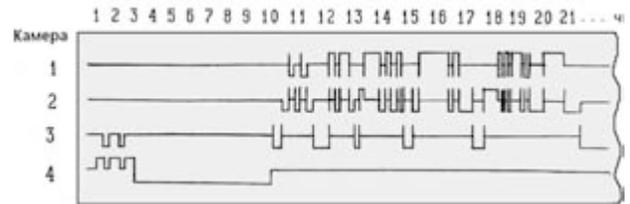


Рис. 2. Фрагмент записи суточной актограммы гадюки (самка, температура зафиксирована, естественный фотопериод)

Таблица 2

Оцифрованная суточная актограмма:
номер камеры, в которой змея преимущественно пребывала в течение каждых 5 мин на протяжении суток (данные рис. 2)

Минуты	Время суток, ч																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1–5	4	3	4	4	4	4	4	4	3	1	3	1	1	2	2	1	2	2	1	2	1	3	2	4
5–10	4	3	4	4	4	4	4	4	3	1	2	1	1	2	1	1	2	2	1	2	1	4	2	3
10–15	4	4	4	4	4	4	4	4	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2	1	2	1	4	2	3
15–20	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2	1	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	4	3	3
20–25	3	4	4	4	4	4	4	4	2	2	1	3	2	1	1	2	3	2	1	1	2	3	3	3
25–30	3	3	4	4	4	4	4	4	1	2	2	3	2	1	1	1	3	2	1	1	2	3	4	3
30–35	3	3	4	4	4	4	4	4	1	2	2	2	1	2	1	1	3	2	2	1	2	3	4	3
35–40	4	3	4	4	4	4	4	4	1	2	2	2	1	2	1	2	3	1	2	1	2	2	4	3
40–45	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	1	2	1	3	1	2	3	2	2	1	3	2	4	2
45–50	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	1	1	1	3	1	2	3	1	1	1	3	1	4	2
50–55	4	4	4	4	4	4	4	3	1	3	1	1	1	3	1	2	2	2	1	1	3	1	4	3
55–60	3	4	4	4	4	4	4	3	1	3	1	1	2	2	1	2	2	2	2	1	3	1	4	4

Таблица 3

Суточный бюджет времени гадюки: число минут T_i из каждого часа суток, в течение которых она пребывала в определенной камере (данные табл. 2)

	Время суток, ч																								MT
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
K1	0	0	0	0	0	0	0	0	25	15	35	25	35	20	55	25	0	10	40	40	15	15	0	0	14.8
K2	0	0	0	0	0	0	0	0	25	25	20	25	25	25	5	35	30	50	20	20	25	10	15	10	15.2
K3	20	25	0	0	0	0	0	10	10	20	5	10	0	15	0	0	30	0	0	0	20	20	10	40	9.79
K4	40	35	60	60	60	60	60	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	35	10	20.2

Таблица 4

Среднечасовое укрытие (M_K) и почасовая подвижность (S_K) гадюки

	Время суток, ч																								В целом
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
M_K	3.7	3.6	4	4	4	4	4	3.8	1.8	2.1	1.5	1.8	1.4	1.9	1.1	1.6	2.5	1.8	1.3	1.3	2.1	2.6	3.3	3	2.59
S_K	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0.4	0.8	0.8	0.7	0.8	0.5	0.8	0.3	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.8	1.2	0.9	0.6	1.19

Таблица 5

Комбинация значений факторов среды, задаваемых при наблюдении за поведением гадюк в актографах

Опыт	Пол	Суточная динамика температуры	Градиент температуры между камерами	Фото-период	Градиент освещенности по камерам
1	самка	естественная	естественный	естественный	естественный
2	самка	отсутствует	отсутствует	естественный	естественный
3	самец	отсутствует	отсутствует	отсутствует	искусственный

Материалом для дальнейшего анализа послужили наблюдения (1993 г.) за активностью двух самок и самца в течение 5 дней в актографах, где были созданы существенно разные условия, рассмотренные в табл. 5. Представленные выше характеристики были рассчитаны в среднем по каждой особи для всех дней наблюдений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Под активностью мы понимаем любую форму поведения гадюки, которая позволяет ей поддерживать наиболее комфортную температуру тела, избегать неблагоприятных воздействий среды и выбирать оптимальные. Можно различить две стороны поведения гадюки: перемещения между укрытиями и отсутствие движений. Внешне «пассивное» прогревание на поверхности почвы неподвижной змеи представляет собой форму активности, поскольку змея контролирует свое состояние и сохраняет готовность к поиску оптимума, если текущие условия изменятся. В условиях циркадной и стохастической динамики факторов среды змеи практически постоянно ведут поиск условий, при которых температура их тела приблизилась бы к оптимальным значениям. Результатом этих поисков становится пребывание животных на поверхности почвы, в траве, камнях и других укрытиях, где они получают необходимую тепловую энергию от солнца или окружающих предметов.

Для изучения деталей этого поведения были проведены три опыта с использованием актогра-

фов. Первый из них проводился летом (июль) в естественных условиях (рис. 3). Змеи выходят из глубоких укрытий на освещенные прогреваемые солнцем участки в 6–8 ч. По мере роста температуры тела и приближения ее к критическому значению (оно отличается у животных разного пола, возраста и состояния) гадюки начинают отыскивать укрытия с тепловым потоком меньшей интенсивности. С 9 до 10 ч змеи находятся в тени второй камеры («травы»), с 11 до 17 ч гадюки – в сплошной тени третьей камеры. В 17–18 ч наблюдается повторное появление животных на открытых участках, прогретых в течение дня. По мере роста отрицательной радиации с 19 до 20 ч гадюки перемещаются в глубинные («подземные») укрытия, где проводят всю ночь.

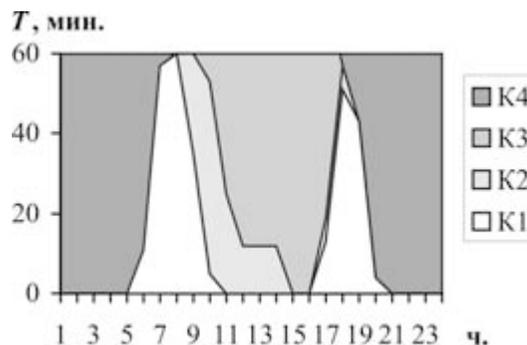
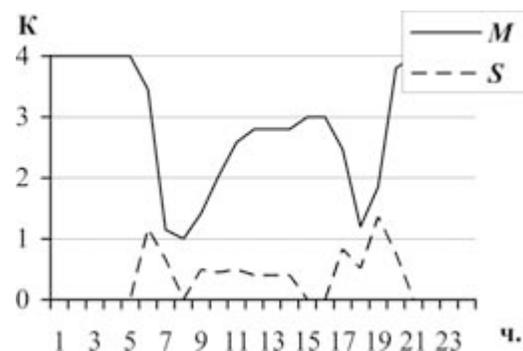


Рис. 3. Среднее укрытие (M), подвижность (S) и суточный бюджет времени (T) гадюки при естественной динамике температуры и освещенности

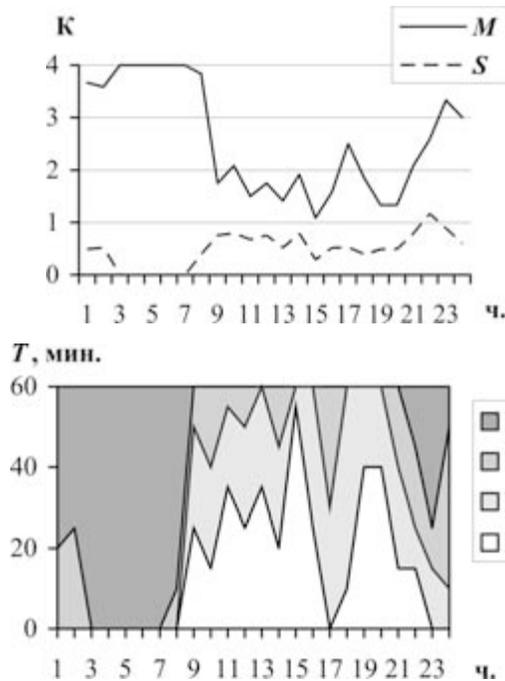


Рис. 4. Среднее укрытие (M), подвижность (S) и суточный бюджет времени (T) гадюки при естественном фотопериоде и неизменной температуре во всех камерах

Второй опыт проходил летом в помещении при естественном изменении освещенности и постоянной температуре (18–21 °С) (рис. 4). Смена укрытий в течение суток проходит аналогично: днем змеи находятся в открытых камерах, а к ночи переходят в закрытые камеры и не двигаются ($S = 0$). Отличительные особенности их поведения состоят в том, что днем гадюки не покидают открытой камеры, поскольку не испытывают перегрева. В то же время, днем они постоянно перемещаются ($S \approx 0.8$), стремясь отыскать лучшие условия обогрева, поскольку температура в открытой камере существенно ниже оптимальной. Эти материалы ясно показывают, что свет является одним из важных факторов регуляции циркадного ритма активности гадюки.

В третьем опыте поддерживались постоянные температура воздуха (20 °С) и освещенность (рис. 5). Круглые сутки гадюки проявляли повышенную спонтанную активность ($S \approx 1$), перемещаясь в пределах замкнутого актографа, видимо, в поисках более высокой температуры среды. Посещаемость всех камер была примерно одинакова.

Представленные данные позволяют в первом приближении обсудить роль факторов среды в су-

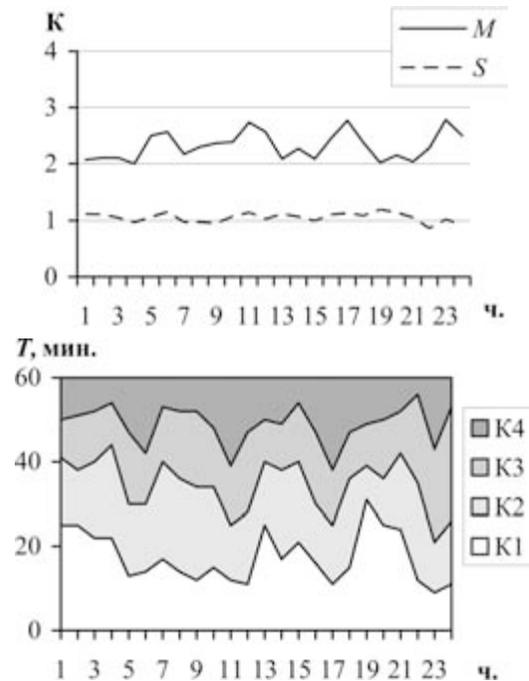


Рис. 5. Среднее укрытие (M), подвижность (S) и суточный бюджет времени (T) гадюки при постоянном освещении и неизменной температуре во всех камерах

точной активности обыкновенной гадюки. Солнечная радиация обеспечивает необходимый нагрев тела, тем самым «удерживает» змей на поверхности почвы. Однако избыточное излучение выступает в роли негативного агента среды, который изгоняет змею с открытых мест в укрытия. Температура средовых компонентов (воздуха, субстрата) в отсутствие прямой инсоляции также обеспечивает поддержание относительно высокой температуры тела и тем самым позволяет гадюке оставаться в том или ином укрытии. Освещенность определяет время утреннего выхода гадюки из подземного убежища, то есть выступает в роли сигнала благоприятной тепловой обстановки.

В целом обыкновенная гадюка демонстрирует очень простые («автоматические») реакции на рассмотренные факторы среды, которые позволяют подойти к изучению деталей ее поведения с помощью автоматной модели [4].

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны Э. В. Ивантеру за помощь в организации стационарных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гранин В. И., Ушаков В. А., Щербак Н. Н. Фенология. Сезонная и суточная активность // Руководство по изучению земноводных и пресмыкающихся. Киев: Наукова думка, 1989. С. 125–128.
2. Калабухов Н. И. Методика экспериментальных исследований по экологии наземных позвоночных. М.: Советская наука, 1951. 177 с.
3. Козлов В. И., Кузнецов Н. И. Прибор для регистрации суточной активности птиц-дуплогнезников и мелких зверей-норников // Зоол. журн. 1958. Т. 37. Вып. 8. С. 1264–1268.
4. Коросов А. В. Имитационное моделирование в среде MS Excel (на примерах из экологии). Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2002. 212 с.

УДК 616.12

АНДРЕЙ ЛЬВОВИЧ ЖЕСТЯНИКОВ

кандидат медицинских наук, ассистент кафедры семейной медицины (общей врачебной практики) медицинского факультета ПетрГУ
zhestyanikov@onego.ru

НАТАЛЬЯ ВЛАДИМИРОВНА ДОРШАКОВА

доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой семейной медицины (общей врачебной практики) медицинского факультета ПетрГУ, проректор ПетрГУ по НИР
dorshakova@psu.karelia.ru

ТАТЬЯНА АЛЕКСЕЕВНА КАРАПЕТЯН

кандидат медицинских наук, доцент кафедры семейной медицины (общей врачебной практики) медицинского факультета ПетрГУ
kara@karelia.ru

**НЕЙРОЦИРКУЛЯТОРНАЯ ДИСТОНΙΑ:
РОЛЬ ДИСБАЛАНСА МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПАТОГЕНЕЗЕ**

В статье представлены результаты исследования массовых концентраций химических элементов в цельной крови больных нейроциркуляторной дистонией (НЦД) и здоровых жителей Карелии с использованием метода атомно-абсорбционной спектрометрии. Показаны различия массовых концентраций элементов между группой больных и здоровых, а также между подгруппами больных. Выявлены более высокие концентрации кадмия ($0,00045 \pm 0,00066$ мг/л) и свинца ($0,00916 \pm 0,00613$ мг/л) у больных. Кроме того, выявлены: дефицит меди в обеих группах, более выраженный у больных НЦД ($0,38 \pm 0,17$ мг/л); дефицит железа у больных НЦД гипертензивного типа ($254,36 \pm 41,61$ мг/л); более низкие концентрации кобальта ($0,003 \pm 0,001$ мг/л) и марганца ($0,013 \pm 0,006$ мг/л) у больных. Получены данные о различных вариантах взаимосвязи массовых концентраций элементов. Выявленные особенности микроэлементного статуса следует учитывать при разработке лечебно-профилактических программ для населения региона, а также при планировании дальнейших исследований.

Ключевые слова: нейроциркуляторная дистония, железо, медь, кобальт, марганец, свинец, кадмий, атомно-абсорбционная спектрометрия с электротермической атомизацией, Север

Нейроциркуляторная дистония является актуальной междисциплинарной медико-социальной проблемой, на что обращает внимание ряд исследователей [12], [21]. Вместе с тем многие вопросы патогенеза данного заболевания, в том числе с учетом региональных особенностей, остаются недостаточно ясными и изученными. При рассмотрении этой патологии важно учитывать целый комплекс экзогенных средовых влияний, которые могут играть существенную роль в ее патогенезе [17]. В работах, посвященных особенностям патологии человека на Севере, подчеркивается важность анализа НЦД с точки зрения адаптационного процесса у северян, с учетом характерных для северных регионов климатических и биогеохимических условий

[3], [17], [18]. При этом отмечается, что сердечно-сосудистая система выступает демонстративным объектом для иллюстрации того, как адаптационные сдвиги гемодинамики у северян могут переходить в дизадаптацию, а затем в патологию. В вышеуказанных процессах существенное место занимают механизмы метаболической адаптации, которые, в свою очередь, во многом зависят от особенностей микроэлементного статуса человека [4], [11]. Дисбаланс химических элементов в среде обитания региона Карелии играет серьезную роль в формировании нарушений здоровья у населения [24]. Вместе с тем мы не встретили опубликованных научных работ, в которых содержится анализ особенностей микроэлементного статуса у больных НЦД, в том

числе с учетом региональных особенностей становления патологии. В связи с вышеизложенным проведение такого исследования мы сочли особенно актуальным.

Цель исследования – определение и сравнительный анализ массовых концентраций эссенциальных (железа, меди, кобальта, марганца) и токсичных (кадмия и свинца) микроэлементов (МЭ) в цельной крови больных НЦД и здоровых жителей Карелии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Всего обследовано 140 человек в возрасте от 18 до 35 лет, постоянно проживающих в г. Петрозаводске. Первую группу составили 80 больных нейроциркуляторной дистонией, 51 мужчина и 29 женщин, госпитализированных для обследования в Больницу скорой медицинской помощи г. Петрозаводска. При постановке диагноза руководствовались основными и дополнительными диагностическими критериями НЦД, широко используемыми как в клинической практике, так и в научно-исследовательских работах [2], [12], [13]. Все обследуемые лица (больные и здоровые) не принимали препаратов и биологически активных добавок, содержащих витамины, макро- и микроэлементы. С учетом клинических проявлений в группе больных выделены 3 подгруппы: 60 человек (75 %) с НЦД гипертензивного типа, 14 человек (17,5 %) – гипотензивного и 6 (7,5 %) – кардиального типа. Контрольную группу составили 60 здоровых лиц того же возраста, 32 мужчины и 28 женщин, являющиеся регулярными донорами и постоянно проживающие в Петрозаводске. Критерием отбора было отсутствие жалоб и симптомов вегетативного и циркуляторного характера, выявляемых при активном опросе и объективном исследовании. Забор цельной крови из вены проводили по стандартной методике в полимерные пробирки с добавленным гепарином, затем герметично их закрывали. Накопление и хранение материала происходило в условиях холодильной камеры при -20°C . Перед проведением анализа проба размораживалась до комнатной температуры в течение 1 часа. Определение микроэлементов проводилось по аттестованным методикам, рекомендованным для применения в медицинских исследованиях [10], [20]. Использовался атомно-абсорбционный спектрометр с электротермической атомизацией «МГА-915», разработанный научно-производственной фирмой аналитического приборостроения «ЛЮМЭКС» и зарегистрированный в Государственном реестре средств измерений Российской Федерации под номером 17309-98. Основными достоинствами данного аналитического комплекса являются: низкие пределы обнаружения, высокая селективность и минимальная пробоподготовка. Статистическую обработку результатов проводили с помощью лицензионных статистических программ R.1.9.1 и Statistica 6.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Массовые концентрации (МК) кадмия (Cd) и свинца (Pb) у больных были достоверно выше, а железа (Fe), кобальта (Co), меди (Cu), марганца (Mn) – ниже (табл. 1). При наличии достоверных различий между группой больных и здоровых МК Cd, Pb, Mn и Co укладывались в диапазон нормального содержания этих элементов в цельной крови. Показатели МК Cu у здоровых и больных НЦД во всех подгруппах и показатели МК Fe у лиц с НЦД гипертензивного типа позволяют говорить о дефиците этих элементов, принимая во внимание данные о диапазоне их нормального содержания (табл. 1) в цельной крови [19], [22], [23], [27]. Следует отметить, что среди больных 30 человек были курящими, и у них отмечались наиболее высокие МК Cd.

Таблица 1

Массовые концентрации Cd, Pb, Fe, Cu, Co, Mn в цельной крови больных НЦД и в контрольной группе

Элемент	Диапазон нормального содержания элемента в цельной крови по литературным данным (мг/л) [19], [23], [27]	Содержание в цельной крови (мг/л)	
		Группа больных НЦД (n = 80)	Контрольная группа (n = 60)
Cd	0,00003–0,007	0,00045 ± 0,00066*	0,00014 ± 0,00004
Pb	0,008–0,269	0,00916 ± 0,00613*	0,00519 ± 0,00289
Fe	309–521	278,42 ± 57,73*	433,11 ± 81,26
Cu	0,75–1,3	0,38 ± 0,17*	0,65 ± 0,23
Co	0,0002–0,04	0,003 ± 0,001*	0,013 ± 0,009
Mn	0,0016–0,075	0,013 ± 0,006*	0,018 ± 0,009

* – различия достоверны по сравнению с контрольной группой (p < 0,05).

Сравнительный анализ подгрупп больных (табл. 2) показал достоверные различия МК Fe, Cu, Co и Mn. МК этих элементов были наименьшими у больных с гипертензивным типом заболевания.

Таблица 2

Массовые концентрации Cd, Pb, Fe, Cu, Co, Mn в подгруппах больных НЦД

Элемент	Содержание в цельной крови (мг/л)		
	НЦД гипертензивного типа (n = 60)	НЦД гипотензивного типа (n = 14)	НЦД кардиального типа (n = 6)
Cd	0,00051 ± 0,00073	0,00023 ± 0,00003	0,00034 ± 0,00024
Pb	0,0097 ± 0,0078	0,0102 ± 0,0041	0,0086 ± 0,0021
Fe	254,36 ± 41,61*	363,0 ± 32,1	321,69 ± 18,08
Cu	0,34 ± 0,16***	0,52 ± 0,17	0,42 ± 0,08
Co	0,0028 ± 0,0009****	0,0041 ± 0,0003	0,0040 ± 0,0001
Mn	0,0119 ± 0,0055**	0,0149 ± 0,0048	0,0215 ± 0,0056

Примечание к таблице 2.

- * – различия достоверны между подгруппами больных ($p < 0,05$): гипотензивной и гипертензивной, кардиальной и гипертензивной, кардиальной и гипотензивной;
- ** – различия достоверны между подгруппами больных ($p < 0,05$): кардиальной и гипертензивной, кардиальной и гипотензивной;
- *** – различия достоверны между гипертензивной и гипотензивной подгруппами ($p < 0,05$);
- **** – различия достоверны между подгруппами больных ($p < 0,05$): кардиальной и гипертензивной, гипотензивной и гипертензивной.

Нам представлялось важным сравнить полученные данные с результатами других исследований. Данные, полученные при исследовании МК элементов в цельной крови у жителей Московской и прилегающих к ней областей [6], говорят о более высоком содержании у них Cd, Pb по сравнению с жителями Карелии и о достаточно низком содержании Fe и Cu (табл. 3).

Таблица 3

Сравнение массовых концентраций МЭ в цельной крови жителей Центрального региона России [6] и жителей Карелии

Элемент	Среднее содержание у здоровых россиян центра страны (Московской и прилегающих к ней областей) (мг/л)	Среднее содержание у здоровых жителей Карелии (мг/л)	Среднее содержание у больных НЦД региона Карелии (мг/л)
Cd	0,014	0,00014	0,00045
Pb	0,054	0,00519	0,00916
Fe	287	433,11	278,42
Cu	0,62	0,65	0,38
Co	0,007	0,0127	0,0031
Mn	0,009	0,018	0,013

Проведенный корреляционный и регрессионный анализ (с графическим изображением полученных данных, представленный на рисунке 1) выявил важные зависимости между элементами. Нам представлялось особенно важным провести анализ взаимосвязи между МК Fe, Cu и Co, учитывая данные о синергичном характере их взаимодействия, и между МК Cd и Fe с учетом данных об антагонизме данных элементов [19], [22], [27].

Зависимость между Fe, Cu и Co характеризуется прямой связью (коэффициент корреляции Fe с Cu – 0,28; Fe с Co – 0,78): при возрастании МК Fe также возрастают МК Cu и Co; при уменьшении МК Fe происходит снижение МК двух других указанных элементов; в случае изменений МК Cu и Co в сторону их увеличения или уменьшения соответственно будут изменяться показатели Fe. Зависимость между Cd и Fe обратная (коэффициент корреляции Fe с Cd – -0,28): при увеличении МК Cd снижаются МК Fe, при увеличении МК Fe снижаются МК Cd.

ОБСУЖДЕНИЕ

Представляется важным установление достоверности различий МК микроэлементов у больных НЦД и здоровых жителей Карелии, а также между подгруппами больных. Следует отметить низкие МК Fe у больных НЦД гипертензивного типа и Cu – у здоровых и больных, с наименьшими показателями у лиц с гипертензивным типом заболевания. Важно подчеркнуть, что латентный дефицит Fe, длительно, порой многие годы протекающий без манифестной клинико-лабораторной симптоматики, является актуальной медицинской проблемой, особенно для регионов с неблагоприятными для человека климатическими и геохимическими условиями [14], [26]. У обследованных нами больных не было клинико-лабораторных данных, позволяющих говорить о наличии железодефицитной анемии. Следует отметить, что показатели МК Fe и Cu у жителей центральных районов России также свидетельствуют о достаточно низком содержании этих элементов на фоне более высоких МК Cd и Pb по сравнению с жителями Карелии (табл. 3). Эти особенности могут быть связаны с более высокой антропогенной нагрузкой у жителей центральных районов России, при которой усиливаются конкурентные взаимодействия между токсичными (Cd и Pb) и эссенциальными (Fe и Cu) элементами. Наиболее низкие МК Fe у больных НЦД гипертензивного типа имеют свое патогенетическое объяснение. При дефиците Fe снижается активность ферментов альдегидоксидазы и аминоксидазы, регулирующих обмен ряда биологически активных соединений, в том числе катехоламинов, в результате чего нарушается их катаболизм и возрастает содержание указанных медиаторов в биосредах человеческого организма [7]. Данные изменения, очевидно, усиливают симпатикотонические влияния на сердечно-сосудистую систему. В исследовательских работах показано усиление вегетативных симпатикотонических влияний с формированием гиперкинетического состояния кровообращения при железодефицитных состояниях [8]. Важно отметить выявленные корреляционные зависимости МК: положительные – Fe, Cu, Co и отрицательные – Fe и Cd. Эти данные наглядно демонстрируют, что в нашем исследовании мы имеем дело не с проблемой недостатка отдельных элементов с клинической маской НЦД, а с дефицитом и дисбалансом комплекса МЭ, часть из которых (Cu, Co) выступают как синергисты Fe, а другая часть (Cd, Pb) – как антагонисты. На основании данных корреляционного анализа есть основания полагать, что более высокие МК Cd и Pb у больных являются одним из первичных механизмов, способствующих снижению содержания Fe. Синергичный и антагонистический характер взаимодействия Fe с другими элементами нагляден и показателен для объяснения результатов исследования, но это только

одна из патогенетических особенностей, которую необходимо учитывать. Еще одна вероятная причина низких МК Fe у больных – ограниченная биодоступность и усваиваемость негемного Fe, содержащегося в природных средах. Очевидно, что у жителей Карелии, с характерными для данного региона климатическими и биогеохимическими условиями, имеются существенные особенности обмена МЭ, позволяющие длительно сохранять гемоглобиновый фонд Fe и активизировать дополнительные, резервные механизмы гемопоэза. Эти особенности метаболизма Fe у жителей Севера анализируются в работах А. Г. Марачева, А. А. Жаворонкова [14], Ю. П. Никитина, Э. Я. Журавской [16]. В этих же исследованиях обозначена еще одна важная проблема, актуальная и для нашей работы, – определение границ понятия «норма» для показателей элементного статуса жителей различных регионов. Полагаем, что эта проблема пока еще изучена недостаточно и требует проведения дальнейших исследований. Возможно, есть смысл говорить не только об абсолютной норме, но и о таком диапазоне содержания элементов в биосредах человеческого организма (с учетом их взаимодействия), при котором обеспечивается «выгодная» для здоровья жителей региона толерантная метаболическая адаптация в данных климатических и биогеохимических условиях. В связи с наиболее низкими МК Cu и Mn у больных НЦД гипертензивного типа следует отметить существенную роль данных элементов и содержащих их антиокислительных металлоферментов в механизмах антиоксидантной защиты организма, регуляции артериального давления и, в целом, деятельности сердечно-сосудистой системы [5], [9], [15], [25], [28], [29], [31], [32]. Есть основания полагать, что недостаток Cu и Mn у больных НЦД гипертензивного типа приводит к ослаблению активности антиоксидантных металлоферментов (в частности, марганец-зависимой и медь-цинк-зависимой супероксиддисмутаз), которые тормозят инактивацию оксида азота (эндотелиального релаксирующего фактора) продуктами перекисного окисления липидов, в результате чего усиливаются вазоконстрикторные влияния.

ВЫВОДЫ

1. У больных НЦД, проживающих в Карелии, выявлены существенные особенности микроэlementного статуса, которые, по всей видимости, играют серьезную роль в патогенезе данного заболевания.

2. Микроэлементный статус больных НЦД характеризуется более низкими МК эссенциальных МЭ (Fe, Cu, Co, Mn) и более высокими – токсичных МЭ (Cd и Pb) по сравнению со здоровыми.

3. Выявленные особенности микроэлементного статуса следует учитывать при разработке

профилактических программ для населения региона, направленных на предупреждение развития и снижение риска прогрессирования сердечно-сосудистых заболеваний. В структуру таких профилактических мероприятий целесообразно включать дополнительные диетические рекомендации (в частности, достаточное употребление красного мяса и курицы нежирных сортов, рыбы, овсяной и гречневой круп, творога, введение в рацион свеклы, моркови, томатов), применение фитосредств (крапивы двудомной, череды трехраздельной, земляники лесной, шиповника, листьев и плодов смородины, плодов рябины), использование витаминно-микроэлементных комплексов, что позволит улучшить обеспеченность организма Fe, Cu, Co, Mn, а также витаминами С и Е в качестве синергистов указанных МЭ.

4. Дальнейшее изучение микроэлементного статуса у больных НЦД, проживающих в неблагоприятных биогеохимических условиях Севера (в том числе и в Карелии), представляется важным и перспективным направлением.

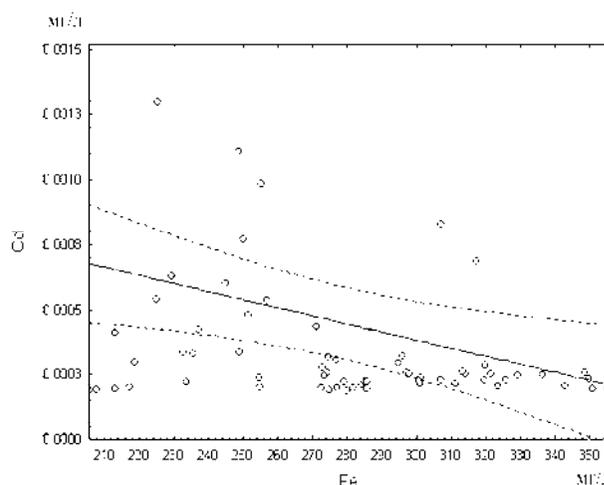


Рис. 1а

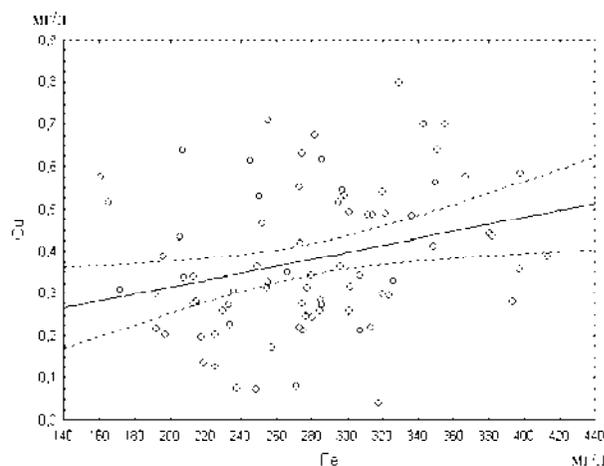


Рис. 1б

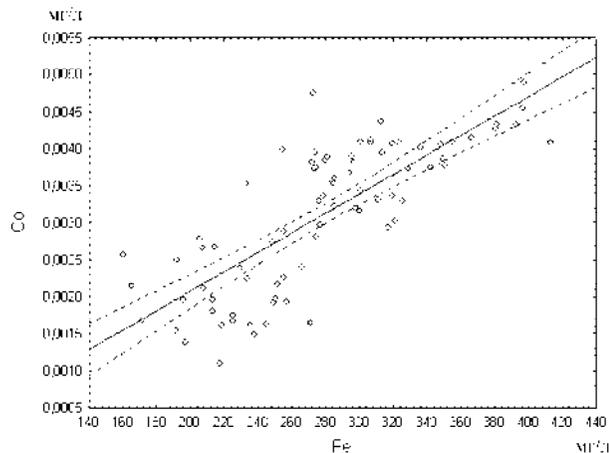


Рис. 1в

Регрессионная зависимость МК элементов

- а) МК Cd и Fe. По оси абсцисс – массовые концентрации железа (Fe) (мг/л); по оси ординат – массовые концентрации кадмия (Cd) (мг/л). Сплошная линия между осями – линия регрессии; прерывистые линии между осями – 95 % доверительный интервал; круги – отдельные наблюдения;
- б) МК Cu и Fe. По оси абсцисс – массовые концентрации железа (Fe) (мг/л); по оси ординат – массовые концентрации меди (Cu) (мг/л);
- в) МК Co и Fe. По оси абсцисс – массовые концентрации железа (Fe) (мг/л); по оси ординат – массовые концентрации кобальта (Co) (мг/л);

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аббакумов С. А. Нейроциркуляторная дистония // Врач. 1997. № 2. С. 6–8.
- Аббакумов С. А. Дифференциальная диагностика нейроциркуляторной дистонии с гиперкинетическим синдромом и гипертонической болезни без поражения органов-мишеней // Врач. 2003. № 2. С. 26–28.
- Авцын А. П., Жаворонков А. А., Марачев А. Г. и др. Патология человека на Севере. М.: Медицина, 1985. 416 с.
- Агаджанян Н. А., Скальный А. В. Химические элементы в среде обитания и экологический портрет человека. М.: КМК, 2001. 83 с.
- Антонов А. В., Якобсон Г. С., Васькина Е. А. Нарушения обмена микроэлементов при артериальной гипертензии и инфаркте миокарда // Российский кардиологический журнал. 2002. Т. 35. № 3. С. 67–71.
- Барашков Г. К., Балкаров И. М., Зайцева Л. И. и др. Диапазон содержания тяжелых металлов (ТМ) в цельной крови взрослых россиян центра страны // Микроэлементы в медицине. 2003. Т. 4. № 3. С. 6–12.
- Бугланов А. А., Саяпина Е. В., Тураев А. Т. Биохимическая и клиническая роль железа // Гематология и трансфузиология. 1991. Т. 36. № 9. С. 36–37.
- Волков В. С., Кириленко Н. П. О вегетативно-соматических нарушениях у больных железодефицитной анемией // Гематология и трансфузиология. 1999. Т. 44. № 3. С. 43–44.
- Ельчанинова С. А., Смагина И. В., Кореньяк Н. А. и др. Влияние интервальной гипоксической тренировки на процессы перекисного окисления липидов и активность антиоксидантных ферментов // Физиология человека. 2003. Т. 29. № 3. С. 72–75.
- Ермаченко Л. А., Ермаченко В. М. Атомно-абсорбционный анализ с графитовой печью: Методическое пособие для практического использования в санитарно-гигиенических исследованиях. М.: ПАИМС, 1999. 220 с.
- Кудрин А. В., Скальный А. В., Жаворонков А. А. и др. Иммунофармакология микроэлементов. М.: КМК, 2000. 537 с.
- Маколкин А. И., Ромасенко Л. В. Актуальные проблемы междисциплинарного сотрудничества при лечении психосоматических расстройств // Терапевтический архив. 2003. Т. 75. № 12. С. 5–8.
- Маколкин В. И., Аббакумов С. А. Диагностические критерии нейроциркуляторной дистонии // Клиническая медицина. 1996. Т. 74. № 3. С. 22–24.
- Марачев А. Г., Жаворонков А. А. Акклиматизационный дефицит железа // Физиология человека. 1987. Т. 13. № 4. С. 640–646.
- Моисеева О. М., Александрова Л. А., Емельянов И. В. и др. Роль оксида азота и его метаболитов в регуляции сосудистого тонуса при гипертонической болезни // Артериальная гипертензия. 2003. Т. 9. № 6. С. 202–205.
- Никитин Ю. П., Журавская Э. Я. Железодефицитные состояния и анемии в Сибири и на Севере. Новосибирск: Наука, 2003. 84 с.
- Покалев Г. М., Варварина Г. Н., Виноградова Е. Г. Функциональные заболевания. Н. Новгород: Нижегородский гуманитарный центр, 2002. 287 с.
- Пуликов А. С., Краснощекова В. И., Быков О. С. и др. Адаптационные предпосылки сердечно-сосудистых дистоний в экстремальных условиях Севера // Сосудистые дистонии в экологических условиях Крайнего Севера и Сибири среди коренного и пришлого населения и их предупреждение: Тез. докл. Красноярск, 1982. С. 20–23.
- Ребров В. Г., Громова О. А. Витамины и микроэлементы. М.: АЛЕВ-В, 2003. 670 с.
- Рутковский Г. В., Глушков Р. К., Колбасов С. Е. и др. Лабораторная диагностика субхронических интоксикаций соединениями свинца, меди, цинка и марганца атомно-абсорбционным методом: Пособие для врачей-лаборантов. СПб., 2001. 14 с.
- Сидоренко Г. И. Нейроциркуляторная дистония // Кардиология. 2003. Т. 43. № 10. С. 93–98.
- Скальный А. В. Химические элементы в физиологии и экологии человека. М.: Изд. дом «ОНИКС-21 век»: Мир, 2004. 216 с.
- Скальный А. В., Рудаков И. А. Биоэлементы в медицине. М.: Изд. дом «ОНИКС-21 век»: Мир, 2004. 272 с.
- Ширинкин С. В. Характеристика микроэлементного статуса при пневмонии у жителей региона Карелии: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Петрозаводск, 2003. 19 с.

25. Шумков В. А. Влияние клинко-биохимических факторов на уровень меди и магния в плазме и эритроцитах у больных гипертонической болезнью I и II стадии // Диагностика и лечение нарушений системного и регионарного кровообращения: Труды ПГМИ. Пермь, 1979. Т. 146. Вып. 1. С. 26–28.
26. Шустов В. Я. Значение микроэлементов в развитии железодефицитных анемий в Поволжье // Гематология и трансфузиология. 1988. Т. 33. № 6. С. 32–35.
27. Эмсли Дж. Элементы: Пер. с англ. М.: Мир, 1993. 256 с.
28. Ярема Н. И., Коновалова Г. Г., Ланкин В. З. Изменение активности антиоксидантных ферментов у больных гипертонической болезнью // Кардиология. 1992. Т. 32. № 3. С. 46–48.
29. Alissa E. M., Bahijri S. M., Lamb D. J. et al. The effects of coadministration of dietary copper and zinc supplements on atherosclerosis, antioxidant enzymes and indices of lipid peroxidation in the cholesterol-fed rabbit // Int. J. Exp. Pathol. 2004. Vol. 85. № 5. P. 265–275.
30. Malec F., Dvorac J., Jiresova E. et al. Difference of baseline serum copper levels between groups of patients with different one year mortality and morbidity and chronic heart failure // Centr. Eur. J. Public Health. 2003. Vol. 11. № 4. P. 198–201.
31. Tang Y. R., Zhang S. Q., Xiong Y. et al. Studies of five microelement contents in human serum, hair, and fingernails correlated with aged hypertension and coronary heart disease // Biol. Trace Elem. Res. 2003. Vol. 92. № 2. P. 97–104.
32. Yanagisawa H., Sato M., Nodera M. et al. Excessive zinc intake elevates systemic blood pressure levels in normotensive rats – potential role of superoxide-induced oxidative stress // J. Hypertens. 2004. Vol. 22. № 3. P. 543–550.

УДК 616-002.77

ИРИНА МИХАЙЛОВНА МАРУСЕНКО

доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры
госпитальной терапии медицинского факультета ПетрГУ
feva@karelia.ru

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ТЕРАПИЯ ПРИ РЕВМАТОИДНОМ АРТРИТЕ

Статья посвящена проблеме нового направления в лечении ревматоидного артрита – биологической терапии. Ревматоидный артрит – наиболее часто встречающееся и значимое воспалительное заболевание суставов, прогрессирование которого приводит к инвалидизации больных. Новые возможности в современном лечении ревматоидного артрита открылись с появлением биологических агентов, которые селективно блокируют активность отдельных провоспалительных медиаторов и позволяют достичь контроля над заболеванием, замедления прогрессирования и улучшить прогноз.

Ключевые слова: антицитокиновая терапия, биологические агенты, интерлейкины, интерферон, моноклональные антитела, провоспалительные цитокины, ревматоидный артрит, фактор некроза опухоли- α

Ревматоидный артрит (РА) является одним из самых частых воспалительных заболеваний суставов. РА – аутоиммунное заболевание неизвестной этиологии, характеризующееся развитием хронического симметричного эрозивного артрита, в ряде случаев сочетающегося с характерными внесуставными проявлениями. Распространенность РА весьма велика и составляет в среднем около 0,7 % всего населения земного шара, что позволяет говорить примерно о 63 миллионах больных. Заболевание встречается во всех возрастных группах, регистрируется во всех странах мира и во всех климатогеографических зонах, поражает все расовые и этнические группы, при этом наибольшее количество больных составляют женщины от 40 до 60 лет. В Российской Федерации распространенность РА в различных регионах составляет от 0,12 до 0,7 %, в среднем – 0,42 %, причем в последнее десятилетие не отмечено тенденции к снижению заболеваемости [3].

В современной ревматологии РА по праву считается одной из центральных проблем, что объясняется, в первую очередь, социальной значимостью заболевания. РА поражает лиц наиболее трудоспособного возраста, а экономические потери от этого заболевания для общества сопоставимы с потерями от ишемической болезни сердца (ИБС). К сожалению, успехи, достигнутые в настоящее время в лечении РА, не позволяют замедлить прогрессирования заболевания у всех пациентов. К кардинальным признакам РА относится неуклонно прогрессирующее поражение суставов, приводящее к инвалидности и снижению продолжительности жизни больных. Около 50 % больных становятся инвалидами в первые 5 лет заболевания. В России средний возраст пациентов, выходящих на инвалидность, составляет 48 лет. Выживаемость неадекватно леченных пациентов с ревматоидным артритом оказалась сопоставимой с такими заболе-

ваниями, как лимфогранулематоз, сахарный диабет, инсульт и трехсосудистое поражение коронарных артерий при ИБС. РА снижает продолжительность жизни больных в среднем на 10 лет.

Развитие и прогрессирование РА определяется сложным сочетанием генетически детерминированных и приобретенных дефектов нормальных регуляторных механизмов, ограничивающих патологическую активацию иммунной системы в ответ на потенциально патогенные, а нередко и физиологические стимулы. В настоящее время РА рассматривается как антиген-обусловленное, Т-клеточно-опосредованное заболевание, воспалительный потенциал которого запускается через распознавание антигена CD4+ Т-клетками в синовиальной ткани. Остаются неизвестными первичные антигены, являющиеся пусковыми для развития иммунного воспаления, но с наибольшим основанием можно полагать, что эти антигены должны быть компонентами собственных суставных тканей.

Основным местом начала и развития патологического процесса являются соединительно-тканые структуры сустава, в том числе синовиальной оболочки. Скопление в синовиальной оболочке CD4+ Т-клеток вызывает реакцию гиперчувствительности по Th1-механизму с выработкой провоспалительных цитокинов. Взаимодействие антигенпрезентирующей клетки и Т-лимфоцита приводит к выработке фактора некроза опухоли- α (ФНО- α) и интерлейкина-1 (ИЛ-1) макрофагами, ИЛ-2 и интерферона- γ (ИНФ- γ) лимфоцитами, которым и принадлежит ведущая роль в дальнейшем активировании клеток и развитии острого воспалительного процесса в суставе. ФНО- α играет важнейшую роль в индукции ИНФ- γ и ИЛ-12. Т-клетки, стимулированные ИНФ- γ и ИЛ-12, в дальнейшем развиваются по Th1-пути. Основным стимулом для агрессивной пролиферации синовиальных клеток являются ФНО- α и ИЛ-1, эти цитокины также стимулируют новообразование сосудов в тканях экспериментальных животных. Деструкция пораженного сустава при РА вызывается паннусом – грануляционной тканью, состоящей из активно пролиферирующих синовиальных клеток, макрофагов и новообразованных капилляров. Механизм деструкции хряща и кости связан с продукцией клетками паннуса больших количеств коллагеназы, других протеиназ и провоспалительных цитокинов. Уже через 2–4 месяца после начала РА при биопсии синовиальной оболочки можно обнаружить морфологические признаки хронического синовита даже в клинически неизменном суставе [2], [9], [13], [18], [47].

Лечение больных РА по-прежнему остается одной из наиболее сложных проблем современной клинической медицины и фармакологии. Цели терапии РА – это достижение клинической ремиссии и максимально долгое сохранение приемлемого качества жизни. Основной принцип современного лечения РА предполагает ран-

нее начало болезнь-модифицирующей терапии при установлении диагноза, поскольку даже самая активная противовоспалительная терапия позволит затормозить прогрессирование болезни только в случае ее своевременного назначения, а наиболее высокая скорость нарастания рентгенологических изменений в суставах наблюдается именно на ранних стадиях РА. Ранняя активная терапия особенно важна у пациентов, имеющих факторы риска неблагоприятного прогноза, к которым относятся высокие титры ревматоидного фактора, выраженное увеличение СОЭ, поражение более 20 суставов, наличие внесуставных проявлений.

Одним из наиболее значимых достижений современной фармакотерапии РА является разработка принципиально новой группы лекарственных средств, которые получили название «биологические агенты» («biologic agents»). К разряду биологической терапии РА относятся моноклональные антитела, блокирующие биологическую активность ФНО- α , интерлейкинов, и поверхностные антигены лимфоцитов; рекомбинантные молекулы, представляющие собой рецепторы различных цитокинов; аналоги молекул, участвующих в активации Т-клеток. В отличие от традиционных базисных препаратов, для которых характерны неспецифические противовоспалительные и/или иммуносупрессивные эффекты, биологические агенты оказывают более селективное ингибирующее действие на синтез отдельных провоспалительных медиаторов, а также активность лимфоцитов.

В ходе большого количества исследований получены данные о том, что применение биологических агентов позволяет снизить активность иммунопатологического процесса и добиться клинического эффекта, улучшить качество жизни и замедлить рентгенологическое прогрессирование поражения суставов даже у пациентов, устойчивых к предшествующей терапии стандартными базисными препаратами. Все биологические препараты эффективны в сочетании с метотрексатом у пациентов с активным РА, не отвечающих на монотерапию метотрексатом. Также продемонстрирована высокая эффективность биологической терапии при раннем РА, позволяющая достигать длительных ремиссий [5], [8], [11], [28], [33], [43], [47].

К сожалению, основным ограничением к широкому применению биологической терапии в Российской Федерации является ее высокая стоимость. При этом в России более 25 % пациентов нуждаются в дорогостоящем лечении. Фармакоэкономические исследования показывают, что достижение значимого клинического улучшения у больных РА требует существенных затрат. Например, стоимость достижения 50 % улучшения по критериям ACR на одного пациента составляет \$ 31,108 при лечении этанерцептом и \$ 54,525 при лечении инфликсимабом. Однако современная активная стратегия терапии

РА, направленная на раннее начало лечения наиболее эффективными препаратами, позволяет при высоких затратах сохранить трудоспособность и качество жизни больных, а также увеличить продолжительность их жизни. В Канаде в 1994 году общие затраты на больных ревматическими заболеваниями превысили 61,4 млрд канадских долларов, а стоимость лечения артритов в США в 1995 году – 82,4 млрд долларов. К 2002 году в развитых странах Европы средняя стоимость ведения одного больного РА составила 15 тыс. евро в год, причем из них только 5 тыс. евро расходуется на прямые затраты, а 10 тыс. евро – на непрямые [35], [37], [40].

БЛОКАТОРЫ ФАКТОРА НЕКРОЗА ОПУХОЛИ- α

Среди первых представителей биологической терапии были созданы препараты, блокирующие активность ФНО- α , или antiTNF-агенты. Инфликсимаб (ремикеид) и адалимумаб (хумира) представляют собой моноклональные антитела к ФНО- α , тогда как этанерцепт (энбрел) – рекомбинантный растворимый ФНО- α рецептор, соединенный с Fc фрагментом IgG. Инфликсимаб представляет собой химерное антитело, содержащее мышинный фрагмент иммуноглобулина. Препарат дозируется на вес пациента и вводится внутривенно с кратностью через 2,6 недели, а затем каждые 8 недель. Адалимумаб представляет собой полностью человеческое антитело, выпускается в шприцах для подкожного введения в дозе 40 мг, вводится каждые две недели. Этанерцепт также вводится подкожно в дозе 25 мг дважды в неделю.

Среди биологических агентов эффективность antiTNF-препаратов при ревматоидном артрите уже достаточно изучена [4], [9], [12], [17], [21], [24], [29], [37], [39], [44]. Наиболее впечатляющие результаты получены для инфликсимаба, который позволяет повысить эффективность лечения РА на 50–60 % по сравнению со стандартной базисной терапией, включая высокие дозы метотрексата. Эффективность инфликсимаба в сравнении с метотрексатом изучалась в крупных исследованиях ATTRACT (Anti-Tumour Necrosis Factor Trial in Rheumatoid Arthritis with Concomitant Therapy) и ASPIRE (Active Controlled Study of Patients Receiving Infliximab for Treatment of Rheumatoid Arthritis of Early Onset trial). В исследовании ATTRACT достигнуто 20 % улучшение по критериям Американской Коллегии ревматологов (ACR) у 30 % больных уже через 2 недели и у 50 % больных через 6 недель.

В исследовании BeST оценивалась эффективность базисной терапии РА в 4 группах больных с последовательной заменой препаратов в виде монотерапии и/или добавлением инфликсимаба. Наибольшая клиническая эффективность выявлена при использовании тройной комбинированной терапии и комбинации метотрексата с инфликсимабом. При этом у 55 % па-

циентов с достигнутым клиническим улучшением после отмены инфликсимаба эффект лечения сохранялся на фоне монотерапии метотрексатом. У ряда больных удалось достичь ремиссии, сохраняющейся в течение 1–2 лет. Следует отметить, что при проведении фармакоэкономического анализа выбор стартового режима терапии с включением инфликсимаба оказался и наиболее экономичным [2], [4], [9], [10], [31], [32], [46].

Наш собственный опыт применения инфликсимаба при РА ограничивается 12 пациентами, которым выполнено от 4 до 9 инфузий препарата в дозе 3 мг/кг. Следует отметить высокую клиническую эффективность инфликсимаба у больных, резистентных к предшествующей базисной терапии, в том числе и высоким дозам метотрексата. У всех подвергнутых биологической терапии пациентов купировались внесуставные проявления РА после 2–3 инфузий, максимальный клинический эффект достигнут на 4–5-й инфузии, с этого же времени отмечалась прибавка массы тела. Только у одной больной отмечена недостаточная эффективность терапии инфликсимабом: при достижении интервала между инфузиями в 8 недель у пациентки констатировалось нарастание суставного синдрома через 4–6 недель после введения препарата. Из 12 больных в связи с высокой активностью заболевания 5 получали системные глюкокортикоиды, которые удалось отменить на фоне терапии инфликсимабом. У 1 пациента достигнута ремиссия, которая удерживается монотерапией метотрексатом в течение 1,5 года. Серьезных побочных эффектов терапии инфликсимабом нами не отмечено.

Режимы введения и эффективность препарата адалимумаб изучались в исследованиях ARMADA (Anti-TNF Research Study Program of the Monoclonal Antibody D2E7 in Rheumatoid Arthritis), Study DE019 и PREMIER. Полученные данные свидетельствуют о сходной эффективности адалимумаба в сравнении с инфликсимабом, но адалимумаб имеет более удобный путь введения – подкожный. В исследовании ARMADA введение адалимумаба в дозе 40 мг дважды в месяц позволило достичь 20 % улучшения по критериям ACR у 25 % больных уже в течение первой недели лечения и у 75 % больных – через 4 недели. В исследовании PREMIER также убедительно была продемонстрирована высокая эффективность комбинации адалимумаба и метотрексата: 60 % пациентов достигли 50 % улучшения по критериям ACR. При этом устойчивый ответ на биологический агент сохранялся и через 2 года: 20 % улучшение по критериям ACR у 69 % больных, 50 % улучшение – у 59 %, 70 % улучшение – у 47 %. В отличие от инфликсимаба адалимумаб разрешен для лечения РА в качестве монотерапии (без комбинации с метотрексатом) [9], [12], [29], [30], [44], [48].

Существует также моноклональное, полностью человеческое антитело к ФНО- α – препарат голимумаб, рассчитанный на подкожное или внутривенное введение по 50 или 100 мг с 4-недельными

интервалами. Еще один вариант нейтрализации ФНО- α – это применение в качестве терапевтического средства не цельной молекулы гуманизированного антитела к ФНО- α , а ее Fab'-фрагментов, соединенных с полиэтиленгликолем. Созданный таким образом препарат получил название сертолизумаб пэгол. Место голимумаба и сертолизумаба в лечении РА изучается.

Рекомбинантный растворимый рецептор к ФНО- α этанерцепт оценивался в сравнении с метотрексатом в исследованиях ADORE (Add Enbrel or Replace Methotrexate), TEMPO (Trial of Etanercept and Methotrexate with Radiographic Patient Outcomes), RADIUS (Rheumatoid Arthritis Disease Modifying Antirheumatic Drug Interventional Utilization Study) и показал высокую эффективность в достижении клинического улучшения и снижения деструктивного потенциала артрита. В исследовании ADORE у 71 % пациентов, получавших этанерцепт, было достигнуто 20 % улучшение по критериям ACR, а в группе получавших этанерцепт в сочетании с метотрексатом – у 67,1 %. При сравнении эффективности этанерцепта и метотрексата в исследовании TEMPO 20 % улучшение по критериям ACR было достигнуто у 75 % больных в группе метотрексата, у 76 % – в группе этанерцепта и у 85 % – в группе комбинированной терапии. В соответствии с официальными инструкциями этанерцепт может применяться при РА в качестве монотерапии [9], [15], [22], [26], [27], [38].

Основная проблема безопасности antiTNF-терапии заключается в возможном развитии сопутствующих инфекций при проведении такого лечения. В различных странах отмечено увеличение частоты развития туберкулеза среди пациентов, получающих биологическую терапию. В связи с этим в Российской Федерации Институтом ревматологии РАМН предложен следующий стандарт ведения пациента при планировании antiTNF-терапии: обязательными предшествующими исследованиями являются обзорная рентгенография органов грудной полости и реакция Манту, при гиперэргической туберкулиновой пробе рекомендуется 3-месячная терапия изониазидом. Кроме возможного развития туберкулеза и инфекций верхних отделов респираторного тракта при применении antiTNF-терапии возможно развитие инфузионных реакций на инфликсимаб и местных аллергических реакций на адалимумаб и этанерцепт, редкое развитие аутоиммунных синдромов (волчаночно-подобного) и демиелинизирующего поражения нервной системы. В ходе проведения терапии у ряда пациентов описано появление блокирующих данные препараты антител, что приводит к неэффективности терапии [1], [4], [41], [44], [49].

БЛОКАТОРЫ ИНТЕРЛЕЙКИНОВ

Препарат анакинра (кинрет) представляет собой рекомбинантную форму человеческого анта-

гониста рецептора к ИЛ-1 типа I, который блокирует рецептор ИЛ-1 на клетках. ИЛ-1 продуцируется моноцитами, макрофагами и клетками синовиальной оболочки, его провоспалительный эффект реализуется индукцией ИЛ-6 и циклооксигеназы-2. У пациентов с РА уровень антагониста рецептора к ИЛ-1 в воспаленных суставах значительно ниже, чем требуется для блокады ИЛ-1. Экспериментальные данные свидетельствуют, что для оптимального подавления эффектов ИЛ-1 надо блокировать более 95 % его рецепторов.

Для лечения РА анакинра используется в виде ежедневных подкожных инъекций в дозе 100 мг. При изучении эффективности различных режимов дозирования анакинры было показано достижение 20 % улучшения по критериям ACR на дозе 30 мг в 39 % случаев, на дозе 75 мг – в 34 % и на дозе 150 мг – в 43 %. В случае рефрактерности пациентов к базисной терапии метотрексатом добавление анакинры в исследовании Study 145 позволило добиться 20 % улучшения по критериям ACR у 38 % больных, а 50 % улучшения – у 17 %. Сходные результаты были продемонстрированы и при активном РА: терапия метотрексатом в комбинации с анакинрой в дозе 100 мг через 24 недели привела к 20 % улучшению по критериям ACR у 42 % больных и к 50 % улучшению – у 24 % [9], [14], [16], [23], [33].

Тоцилизумаб – это моноклональное антитело к рецептору интерлейкина-6. ИЛ-6 – плеотропный цитокин, эффекты которого включают активацию Т-клеток и остеокластов, индукцию выработки аутоантител. В исследованиях второй фазы при РА тоцилизумаб показал положительные результаты. 359 пациентов РА случайным образом рандомизировали к монотерапии тоцилизумабом в разных дозах (2, 4 и 8 мг/кг), к комбинированной терапии тоцилизумабом и метотрексатом, а также к монотерапии метотрексатом. При монотерапии тоцилизумабом ответа по критериям ACR20 достигли 31 % больных при дозе 2 мг/кг, 61 % – при дозе 4 мг/кг и 63 % – при дозе 8 мг/кг. Комбинированная терапия тоцилизумабом и метотрексатом позволила достичь 20 % улучшения по критериям ACR у 64 % больных при дозе 2 мг/кг, у 63 % – при дозе 4 мг/кг и 74 % – при дозе 8 мг/кг [5], [9], [34], [42].

Среди других блокаторов ИЛ можно назвать HuMax-IL-15 – человеческое моноклональное антитело к ИЛ-15, который в исследованиях второй фазы при РА продемонстрировал 20 % улучшение по критериям ACR через 4 недели более чем у 60 % больных, и пралнаказан – пероральный активный ингибитор конвертирующего фермента интерлейкина-1 β , блокирующий активацию ИЛ-1 β и ИЛ-18, который изучается в исследованиях второй фазы при РА.

АНТИТЕЛА К CD АНТИГЕНАМ ЛЕЙКОЦИТОВ

В-лимфоциты играют важную роль в патогенезе РА, синтезируя провоспалительные цито-

кины, ревматоидные факторы и другие аутоантитела. В связи с этим большой интерес представляло изучение эффективности препарата ритуксимаб в лечении РА, который успешно применяется в медицине с 1997 года для лечения лимфом. Ритуксимаб (мабтера) представляет собой генноинженерное химерное моноклональное антитело к поверхностному CD20 антигену В-лимфоцитов. Этот антиген экспрессируется только на пре-В и зрелых В-клетках, он не представлен на стволовых клетках и теряется при дифференциации В-клеток в плазмоциты. При этом CD20 является привлекательной мишенью для фармакологических воздействий, поскольку он не высвобождается с мембраны В-лимфоцитов и отсутствует его циркулирующая растворимая форма, которая могла бы связывать вводимые антитела. Действие ритуксимаба выборочно уменьшает популяцию В-лимфоцитов, влияя на комплементзависимую и антителозависимую цитотоксичность и индуцируя апоптоз.

Эффективность ритуксимаба при РА подтверждена в нескольких исследованиях. В исследовании REFLEX (Rituximab for Rheumatoid Arthritis Refractory to Anti-Tumor Necrosis Factor Therapy) были включены больные РА с неэффективностью или непереносимостью по крайней мере одного ингибитора ФНО. Введение ритуксимаба в дозе 1000 мг в/в на фоне продолжающейся терапии метотрексатом позволило через 24 недели получить ответ по критериям ACR20 у 51 % пациентов и ACR50 – у 27 %. Кроме того, по данным REFLEX, комбинированная терапия ритуксимабом и метотрексатом более эффективно тормозит деструкцию суставов, чем монотерапия метотрексатом.

В исследовании DANCER (Dose-ranging Assessment International Clinical Evaluation of Rituximab in RA) вошли больные РА, резистентные хотя бы к одному базисному препарату, включая метотрексат и ингибиторы ФНО, а ритуксимаб использовался в двух режимах – 500 и 1000 мг в/в против плацебо. Эффективность комбинированной терапии ритуксимабом и метотрексатом оказалась достоверно выше и у самой тяжелой группы больных: 20 % улучшения по критериям ACR достигли 54 % пациентов, 50 % улучшения – 34 % и 70 % улучшения – 20 %. Также была установлена высокая эффективность повторных введений ритуксимаба, не уступающих первому курсу.

В настоящее время, согласно рекомендациям EULAR, терапия ритуксимабом показана больным РА с неэффективностью ингибиторов ФНО, а также при противопоказаниях к antiTNF-терапии: туберкулез и лимфопролиферативные заболевания в анамнезе, ревматоидный васкулит. Рекомендуемый режим введения ритуксимаба при РА – по 1000 мг в/в в день 1-й и 15-й с премедикацией метилпреднизолоном 100 мг в/в. Наиболее частым побочным эффектом при лечении ритуксимабом являются инфузионные реакции, для снижения частоты которых и предло-

жено проведение премедикации. Частота этого осложнения существенно снижается при повторном введении препарата. Увеличения риска развития оппортунистических инфекций, включая туберкулез, реактивации вирусных инфекций, а также онкологических заболеваний на фоне лечения ритуксимабом не отмечено [6], [7], [18], [19], [20].

Подавление патологической активации Т-лимфоцитов также является важным направлением в лечении РА. Сегодня существует препарат, обладающий подобным эффектом, – CTLA4 Ig (cytotoxic T-lymphocyte-associated antigen 4). Препарат абатацепт (CTLA4 Ig) представляет собой молекулу, состоящую из внешнего домена CTLA4 и тяжелой цепи Fc фрагмента молекулы иммуноглобулина G1. Для оптимальной активации Т-лимфоцитов требуется два сигнала: один из них реализуется в процессе взаимодействия Т-клеточных рецепторов с комплексом пептид-ГКГ, а другой – за счет взаимодействия «ко-стимулирующих» рецепторов на Т-клетках и соответствующих лигандов на антиген-презентирующих клетках. «Ко-стимуляторный» сигнал обеспечивается за счет взаимодействия CD28 на Т-лимфоцитах и CD80/CD86 на антиген-презентирующих клетках, что приводит к активации Т-клеток. Абатацепт связывает CD80- и CD86-рецепторы на антиген-презентирующей клетке, предотвращая взаимодействие с CD-28 рецептором Т-лимфоцита. Таким образом, препарат блокирует активацию и пролиферацию Т-клеток, а как следствие – продукцию ревматоидного фактора, активацию макрофагов и моноцитов и продукцию провоспалительных цитокинов.

Препарат абатацепт проходит клинические испытания при РА. Так, в исследовании AIM (Abatacept in Inadequate Responders to Methotrexate) изучалась эффективность абатацепта в дозах 2 и 10 мг/кг в/в у пациентов, рефрактерных к монотерапии метотрексатом. Терапия абатацептом оказалась более эффективной клинически и по влиянию на прогрессирование деструкции суставов, ответ по критериям ACR20 был достигнут у 60 % больных, получавших абатацепт в дозе 10 мг/кг. Частота ремиссий среди пациентов, получавших абатацепт, была также выше в сравнении с метотрексатом [5], [9], [36], [45].

Особый интерес представляют результаты исследования ATTAIn (Abatacept Trial in Treatment of Anti-TNF Inadequate Responders), в котором впервые была продемонстрирована эффективность абатацепта у больных с недостаточным ответом на antiTNF-терапию. Через 6 месяцев лечения 20 % улучшения по критериям ACR достигли 50,4 % пациентов, 50 % улучшения – 20,3 %, и у 10 % больных констатирована ремиссия по критериям DAS28. Следует отметить, что торможение деструкции суставов при назначении абатацепта может происходить и без сопутствующего клинического улучшения [25].

Изучение эффективности новых биологических агентов в лечении РА продолжается. Препарат натализумаб представляет собой гуманизированные моноклональные антитела к α_4 -интегрину. Антагонист интегрина ингибирует адгезию лейкоцитов и их миграцию в воспаленные ткани. Эффективность натализумаба изучалась у 64 пациентов РА, получающих метотрексат в дозах 1, 2, 4 или 8 мг/кг подкожно или внутривенно. Полученные предварительные результаты позволили организовать исследование по оценке эффективности натализумаба в дозах 2 и 4 мг/кг подкожно. Другой изучаемый агент – фонтолизумаб, представляющий собой моноклональные антитела к интерферону- γ . ИНФ- γ играет большое значение в развитии аутоиммунных реакций, способствует дифференциации Т- и В-лимфоцитов, является мощным активатором макрофагов, стимулирует продукцию мощного провоспалительного цитокина – ИЛ-12. ИНФ- γ вырабатывается в организме только при патологических процессах, в том числе при аутоиммунном воспалении, и вызывает нарастание

продукции ФНО- α . Лечебный эффект антител к ИНФ- γ , вероятно, связан в том числе и с торможением активности ФНО- α . Результаты предварительных исследований показали, что внутримышечное введение антител к ИНФ- γ в дозе 100–200 мг существенно превосходит эффект плацебо. При этом результаты сопоставимы с эффектом antiTNF-терапии.

Таким образом, современная ревматология имеет в своем терапевтическом арсенале новые возможности лечения такого тяжелого заболевания, как ревматоидный артрит. Биологические агенты существенно изменили наши возможности в достижении клинического улучшения и ремиссии при РА, а также в замедлении темпов прогрессирования эрозивного артрита. Существенным достоинством биологической терапии является ее выраженная целенаправленность и избирательность действия при РА. Множество больных, считавшихся ранее резистентными к наиболее активной базисной терапии, получили новые шансы на улучшение в течение заболевания

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов Р. С., Якушин С. Б., Насонов Е. Л. Инфекционные осложнения терапии блокаторами фактора некроза опухоли: предупрежден – значит вооружен // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. 2006. № 8. С. 314–324.
2. Насонов Е. Л. Перспективы фармакотерапии воспалительных ревматических заболеваний: моноклональные антитела к фактору некроза опухоли // Российский медицинский журнал. 2001. № 9. С. 280–284.
3. Насонов Е. Л. Фармакотерапия ревматоидного артрита с позиций доказательной медицины: новые рекомендации // Российский медицинский журнал. 2002. № 10 (6). С. 294–302.
4. Насонов Е. Л. Моноклональные антитела к фактору некроза опухоли- α в ревматологии // Российский медицинский журнал. 2003. № 7. С. 390–394.
5. Насонов Е. Л. Лечение ревматоидного артрита: современное состояние проблемы // Российский медицинский журнал. 2006. № 8 (14). С. 573–577.
6. Насонов Е. Л. Новые направления терапии ревматоидного артрита: перспективы применения моноклональных антител к В-лимфоцитам (ритуксимаб) // Российский медицинский журнал. 2006. № 25 (14). С. 1778–1782.
7. Насонов Е. Л. Применение ритуксимаба при ревматоидном артрите с позиций доказательной медицины, основанной на доказательствах // Терапевтический архив. 2007. № 12. С. 76–82.
8. Сигидин Я. А., Лукина Г. В. Новые подходы к анализу патогенеза и патогенетической терапии ревматоидного артрита // Научно-практическая ревматология. 2001. № 5. С. 4–11.
9. Сигидин Я. А., Лукина Г. В. Биологическая терапия в ревматологии. М., 2007. 179 с.
10. Чичасова Н. В., Лукина Г. В., Сигидин Я. А., Имамединова Г. Р., Насонов Е. Л. Опыт лечения ревматоидного артрита препаратом Ремикейд (инфликсимаб) // Российский медицинский журнал. 2005. № 24 (13). С. 1590–1594.
11. Afeltra A. Treatment of rheumatoid arthritis: new therapeutic approaches with biological agents. *Curr. Drug Targets Immune Endocr. Metabol. Disord.* 2001. Vol. 1. P. 45–65.
12. Anderson D. L. TNF inhibitors: a new age in rheumatoid arthritis treatment. *Am. J. Nurs.* 2004. Vol. 104 (2). P. 60–68.
13. Arend W. P. Physiology of cytokine pathways in rheumatoid arthritis. *Arthritis Care.* 2001. Vol. 45. P. 101–106.
14. Arend W. P., Gabay C. Treatment of rheumatoid arthritis with IL-1 inhibitors. *Immunopathology.* 1998. Vol. 20. P. 229–246.
15. Bathon J. M., Martin R. W., Fleischmann R. M. et al. A comparison of etanercept and methotrexate in patients with early rheumatoid arthritis. *N. Engl. J. Med.* 2000. Vol. 343. P. 1586–1593.
16. Cohen S. B. The use of anakinra, an interleukin-1 receptor antagonist, in the treatment of rheumatoid arthritis. *Rheum. Dis. Clin. North Am.* 2004. Vol. 30 (2). P. 365–380.
17. Conaghan P. G., Quinn M. A., O'Connor P. et al. Can very high-dose anti-tumor necrosis factor blockade at onset of rheumatoid arthritis produce long-term remission? *Arthr. Rheum.* 2002. Vol. 46 (7). P. 1971–1972.
18. Dorner T., Burmester G. R. The role of B cells in rheumatoid arthritis: mechanisms and therapeutic targets. *Curr. Opin. Rheumatol.* 2003. Vol. 15. P. 246–252.
19. Edwards C. W., Szczepanski L., Szechinski J. et al. Efficacy of B-cell-targeted therapy with rituximab in patients with rheumatoid arthritis. *N. Engl. J. Med.* 2005. Vol. 350. P. 2572–2581.
20. Emery P., Fleischmann R., Filipowicz-Sosnowska A. et al. The efficacy and safety of rituximab in patients with active rheumatoid arthritis despite methotrexate treatment. *Arthr. Rheum.* 2006. Vol. 54. P. 1390–1400.
21. Feldmann M. Development of anti-TNF therapy for rheumatoid arthritis. *Nature Rev.* 2002. Vol. 2. P. 364–370.
22. Fleischmann R., Iqbal I., Nandeshwar P. et al. Safety and efficacy of disease-modifying anti-rheumatic agents: focus on the benefits and risks of etanercept. *Drug Saf.* 2002. Vol. 25. P. 173–197.

23. Fleischmann R. M., Schechtman J., Bennett R. et al. Anakinra, a recombinant human interleukin-1 receptor antagonist (r-metHuIL-1ra), in patients with rheumatoid arthritis: a large, international, multicenter, placebo-controlled trial. *Arthritis Rheum.* 2003. Vol. 48. P. 927–934.
24. Fox D. A. Cytokine blockade as a new strategy to treat rheumatoid arthritis: inhibition of tumor necrosis factor. *Arch. Intern. Med.* 2000. Vol. 160. P. 437–444.
25. Genant H., Peterfy C., Wu C. et al. An ACR20 response is not required for inhibition of structural damage progression by abatacept. *Arthr. Rheum.* 2005. Vol. 52. P. 738–739.
26. Genovese M. C., Bathon J. M., Martin R. W., Fleischmann R. M., Tesser J. R., Schiff M. H. et al. Etanercept versus methotrexate in patients with early rheumatoid arthritis: two-year radiographic and clinical outcomes. *Arthr. Rheum.* 2002. Vol. 46. P. 1443–1450.
27. Genovese M. C., Kremer J. M. Treatment of rheumatoid arthritis with etanercept. *Rheum. Dis. Clin. North. Am.* 2004. Vol. 30 (2). P. 311–328.
28. Haque U. J., Bathon J. M. The role of biologicals in early rheumatoid arthritis. *Best Pract. Res. Clin. Rheumatol.* 2005. Vol. 19 (1). P. 179–189.
29. Haraoui B. The anti-tumor necrosis factor agents are a major advance in the treatment of rheumatoid arthritis. *J. Rheumatol.* 2005. Vol. 72. P. 46–47.
30. Keystone E., Haraoui B. Adalimumab therapy in rheumatoid arthritis. *Rheum. Dis. Clin. North. Am.* 2004. Vol. 30 (2). P. 349–364.
31. Lipsky P. E., Heijde van der D., St. Clair W. et al. Infliximab and methotrexate in the treatment of rheumatoid arthritis. *N. Engl. J. Med.* 2000. Vol. 343. P. 1594–1602.
32. Maini S. R. Infliximab treatment of rheumatoid arthritis. *Rheum. Dis. Clin. North. Am.* 2004. Vol. 30 (2). P. 329–347.
33. Maini R. N., Taylor P. C. Anti-cytokine therapy for rheumatoid arthritis. *Annu Rev. Med.* 2000. Vol. 51. P. 207–229.
34. Maini R. N., Taylor P. C., Pavelka K. et al. Efficacy of IL-6 receptor antagonist MRA in rheumatoid arthritis patients with an incomplete response to methotrexate (CHARISMA). *Arthr. Rheum.* 2003. Vol. 48. P. 652.
35. Mittendorf T., Mau W., Zeider H. Health economics research in the area of chronic polyarthritis. *Z. Rheumatol.* 2002. Vol. 61. P. 21–29.
36. Moreland L. W., Kaine J., Espinoza L. et al. Safety of abatacept in rheumatoid arthritis patients in five double-blind placebo-controlled trials. *Arthr. Rheum.* 2005. Vol. 52. P. 350.
37. Moreland L. W. Drugs that block tumour necrosis factor: experience in patients with rheumatoid arthritis. *Pharmacoeconomics.* 2004. Vol. 22. P. 39–53.
38. Moreland L. W., Cohen S. B., Baumgartner S. W. et al. Long-term safety and efficacy of etanercept in patients with rheumatoid arthritis. *J. Rheumatol.* 2001. Vol. 28. P. 1238–1244.
39. Mugnier B., Bouvenot G. Anti-TNF-alpha monoclonal antibodies in the treatment of rheumatoid arthritis. *Rev. Med. Interne.* 2000. Vol. 21 (10). P. 854–862.
40. Muller-Ladner U. Are "biologics" in the treatment of rheumatoid arthritis really cost effective? *Internist.* 2004. Vol. 45 (12). P. 1402–1406.
41. Neven N., Vis M., Voskuyl A. E., Wolbink G. J., Nurmohamed M. T., Dijkmans B. A., Lems W. F. Adverse events in patients with rheumatoid arthritis treated with infliximab in daily clinical practice. *Ann. Rheum. Dis.* 2005. Vol. 64 (4). P. 645–646.
42. Nishimoto N., Yoshizaki K., Miyasaka N. et al. Treatment of rheumatoid arthritis with humanized anti-interleukin-6 receptor antibody. *Arthr. Rheum.* 2004. Vol. 50. P. 1761–1769.
43. O'Dell J. R. Anticytokine therapy: a new era in the treatment of rheumatoid arthritis. *N. Engl. J. Med.* 1999. Vol. 340. P. 310–312.
44. Roberts L., McColl G. J. Tumour necrosis factor inhibitors: risks and benefits in patients with rheumatoid arthritis. *Intern. Med. J.* 2004. Vol. 34 (12). P. 687–693.
45. Russell A., Emery P., Kafka S. P. et al. Abatacept improves clinical responses regardless of baseline physical functions: results from the AIM trial. *Arthr. Rheum.* 2005. Vol. 52. P. 543.
46. Smolen J. S., Betteridge N., Breedveld F. C. et al. Consensus statement on the use of rituximab in patients with rheumatoid arthritis. *Ann. Rheum. Dis.* 2007. Vol. 66. P. 143–150.
47. Taylor P. C. Anti-cytokines and cytokines in the treatment of rheumatoid arthritis. *Curr. Pharm. Des.* 2003. Vol. 9 (14). P. 1095–1106.
48. Weinblatt M. E., Keystone E. C., Furst D. E. et al. Adalimumab, a fully human anti-tumor necrosis factor alpha monoclonal antibody, for the treatment of rheumatoid arthritis in patients taking concomitant methotrexate: the ARMADA trial. *Arthr. Rheum.* 2003. Vol. 48. P. 35–45.
49. Wintrop K. L. Risk and prevention of tuberculosis and other serious opportunistic infections associated with the inhibition of tumor necrosis factor. *Nat. Clin. Pract. Rheumatoid.* 2006. Vol. 2. P. 602–610.

УДК 616-092.12+612.592.1

ЛЮДМИЛА ИВАНОВНА ГЕРАСИМОВА

доктор медицинских наук, доцент кафедры физиологии человека и животных медицинского факультета ПетрГУ
gerasimova@petsu.ru

УСИЛЕННАЯ ХОЛОД-ИНДУЦИРОВАННАЯ ВАЗОКОНСТРИКЦИЯ КАК ДОНОЗОЛОГИЧЕСКИЙ ПРИЗНАК ПРИ АДАПТАЦИИ К УСЛОВИЯМ СЕВЕРА

Донозологическое состояние в условиях Севера характеризуется признаками дезадаптации к холоду и склонностью к вазоконстрикторным реакциям в форме усиленной холод-индуцированной вазоконстрикции. В обзоре обсуждаются патогенетические механизмы появления признаков дезадаптации к холоду.

Ключевые слова: адаптация к холоду, донозологические состояния, холод-ассоциированные симптомы, феномен Рейно

Проблема сохранения здоровья человека, проживающего в условиях Севера, остается актуальной на протяжении последнего времени, что связано с активным освоением территорий, увеличением миграционных процессов на территории России, повышением доли пожилого населения, в том числе в Северо-Западном регионе. Приспособление к условиям Севера обеспечивается системными изменениями нейро-гормональной регуляции, где ведущее значение имеют повышение участия адренергических механизмов и изменение тиреоидного статуса организма, а перестройка обмена веществ описывается как полярный адаптивный метаболический тип [6], [11], [24], [25].

Согласно современной концепции оценки и прогнозирования функционального состояния организма, предложенной академиком Р. М. Бавским [4], [5], на границе между здоровьем и болезнью находится ряд переходных состояний организма, которые называются донозологическими, главная особенность которых заключается в снижении адаптационных возможностей.

Исследователями в области полярной медицины отмечено, что в условиях высоких широт

многие заболевания характеризуются ранним началом, неспецифичностью симптомов, большей распространенностью нарушения функционального состояния организма, чем в других климатических зонах [12], [13]. Значительное место в заболеваемости занимают болезни системного перенапряжения, снижается порог вредного воздействия на организм производственно-экологических факторов, и уменьшаются функциональные возможности организма к восстановлению нарушений гомеостаза [3], [12], [16], [21]. Таким образом, данные многочисленных исследований свидетельствуют о том, что для состояния здоровья населения, проживающего в регионах Севера, характерны системные проявления дезадаптации организма [1], [3], [12], [13], [16], [21].

Цель проведенного исследования заключалась в изучении роли механизмов, лежащих в основе дезадаптации к холоду, в развитии донозологических состояний человека в условиях Севера. С этой целью изучена роль холод-индуцированных сосудистых реакций как признаков напряженной адаптации к холоду [14], [20], [23], [27].

Нами был проведен ряд исследований по изучению частоты холод-ассоциированных симптомов в целом и холод-индуцированной вазоконстрикции в частности в группах с различной адаптированностью к условиям Севера [7], у лиц с хроническими заболеваниями [8], а также сопоставлено наличие холод-ассоциированных симптомов с состоянием вегетативной нервной системы на основе исследования параметров вызванного кожного вегетативного потенциала (ВКВП) [9]. Для диагностики усиленной холод-индуцированной вазоконстрикции как одного из основных признаков высокой чувствительности к холоду использованы критерии начальных признаков феномена Рейно, поскольку оба симптома имеют общие механизмы развития [2], [10], [15], [26].

Холод-ассоциированные симптомы объединяют признаки отрицательного действия холода: изменения цвета открытых частей тела, нарушения чувствительности, боли в суставах, мышцах (дискомфорт), а также нарушения функции различных систем организма [16], [21]. Анкетирование с целью выявления холод-ассоциированных симптомов проведено с участием 288 человек, в том числе: 197 резидентов Северо-Западного региона России (71 м, 126 ж); 72 мигранта из южных регионов России (28 м, 44 ж); 19 мигрантов из стран Ближнего и Среднего Востока (19 м). Исследование показало, что среднее число симптомов, появляющихся во время действия холода, составляло $1,95 \pm 0,13$, сразу после действия холода – $1,45 \pm 0,10$. У женщин во всех группах среднее количество холод-ассоциированных симптомов было больше, чем у мужчин ($p < 0,05$). У мигрантов из более южных регионов отмечено более частое появление признаков неблагоприятного влияния холода ($p < 0,05$), особенно данная тенденция была характерна для мужчин.

Признаки усиленной холод-индуцированной вазоконстрикции в виде начальных проявлений феномена Рейно выявлены у 16 % опрошенных, что сопоставимо с данными в соответствующей возрастной группе, полученными на сопредельной территории Финляндии [21]. Данный симптом чаще наблюдался у женщин ($p < 0,05$) и у мигрантов из более южных регионов ($p < 0,05$). Поскольку в исследуемой группе практически отсутствовали заболевания, при которых наблюдается вторичный феномен Рейно, то данный симптом расценен нами как проявление болезни Рейно. В целом в группе преобладали симптомы, возникающие от прямого действия холода на периферические ткани: холод-индуцированная вазоконстрикция, крапивница, нарушения чувствительности, а также болевые ощущения в мышцах, суставах.

Для того чтобы установить значение холод-ассоциированных симптомов в качестве возможных факторов риска ухудшения здоровья людей в условиях холодного климата, проведено исследование частоты данных симптомов в группе лиц

с хроническими заболеваниями. В исследовании приняли участие 95 человек (44 м, 51 ж), находившихся на лечении в терапевтических отделениях стационаров г. Петрозаводска.

Исследование показало, что в группе больных с хроническими заболеваниями число симптомов, возникающих на холоде, было $3,17 \pm 0,14$, после действия холода – $1,70 \pm 0,10$, что достоверно больше, чем в группе практически здоровых лиц. Наибольшее количество холод-ассоциированных симптомов наблюдалось у лиц, имеющих заболевания системы кровообращения, дыхания и опорно-двигательного аппарата. В исследованной группе чаще встречалась усиленная холод-индуцированная вазоконстрикция, она составляла от 20 до 28 % в зависимости от характера патологии, и чаще наблюдались холод-ассоциированные симптомы, возникающие на основе рефлекторных механизмов регуляции, например затруднения дыхания, боли в груди и аритмии ($p < 0,05$), что может отражать формирование патологической системы, связанной с дезадаптацией к холоду.

Исследование функционального состояния вегетативной регуляции у мигрантов по сравнению с постоянными жителями Севера и у лиц с усиленной холод-индуцированной вазоконстрикцией показало, что у мигрантов наблюдается снижение параметров ВКВП, характеризующих трофотрофную активность, и повышение параметров, характеризующих эрготропную активность [9]. У лиц с усиленной холод-индуцированной вазоконстрикцией определяется уменьшение участия холинергических механизмов (снижением параметров 1-й фазы A1 и S1, $p < 0,05$) и повышение адренергической регуляции (рост параметров 2-й фазы A2 и S2, $p < 0,01$), что является признаком напряженной адаптации.

Результаты функциональных исследований соответствуют литературным данным о механизмах формирования феномена Рейно в качестве усиленной холод-индуцированной вазоконстрикции. Оба симптома расцениваются как проявления гиперреактивности сосудистой системы, которая опосредована постсинаптическими $\alpha 2$ -адренорецепторами [14], [17], [22], [23]. Таким образом, выявленная нами повышенная активность сосудистых реакций в группах мигрантов и у людей с повышенной чувствительностью к холоду является признаком напряженной адаптации к холоду и служит фактором риска для населения, проживающего в условиях Севера [20], [21], [27].

Результаты, полученные нами, во многом совпадают с данными литературы. Исследованиями последних лет в области определения факторов риска для населения высоких широт показано, что распространенность феномена Рейно составляет, по разным данным, от 0,5 до 20 % [19], [28], наблюдается зависимость частоты феномена Рейно от широты местности [15], [26], установлена связь между наличием данного

симптома и частотой холодовых повреждений (отморожений) [18], [29], а также возможность участия механизмов развития феномена Рейно в формировании соматических заболеваний человека [19]. Выявленные факты, а также то, что одним из факторов, участвующих в развитии холод-индуцированной вазоконстрикции и феномена Рейно, является усиление активности адренергических механизмов [14], [23], позволяют расценивать холод-ассоциированные симптомы в качестве признаков напряженной адап-

тации к холоду и факторов риска для населения, проживающего в условиях Севера [21].

Таким образом, холод-ассоциированные симптомы характеризуют состояние «предболезни», связанное с неадекватным обеспечением процесса долговременной адаптации к холоду. Холод-ассоциированные симптомы, возникающие на основе вазомоторных реакций (феномен Рейно), являются признаком повышения участия адренергических механизмов и напряженной адаптации организма к холоду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авцын А. П., Жаворонков А. А., Марачев А. Г., Милованов А. П. Патология человека на Севере. М.: Медицина, 1985. 416 с.
2. Алекперов Р. Т. Синдром Рейно // Лечащий врач. 2005. № 4. С. 46–48.
3. Афанасьева Р. Ф., Бурмистрова О. В. Холодовой стресс, критерии оценки, прогнозирование риска охлаждения человека // Безопасность жизнедеятельности. 2006. № 2. С. 16–21.
4. Баевский Р. М. Концепция физиологической нормы и критерии здоровья // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. 2003. Т. 89. № 4. С. 473–487.
5. Баевский Р. М. Проблема оценки и прогнозирования функционального состояния организма и ее развитие в космической медицине // Успехи физиологических наук. 2006. Т. 37. № 3. С. 42–57.
6. Бойко Е. Р. Физиолого-биохимические основы жизнедеятельности человека на Севере. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 190 с.
7. Герасимова Л. И. Влияние длительности проживания на Европейском Севере на частоту холод-ассоциированных симптомов // Вестник РУДН. 2000. № 3. С. 35–38.
8. Герасимова Л. И. Частота холод-ассоциированных симптомов у пациентов с терапевтической патологией // Вестник РУДН. 2003. Т. 24. № 5. С. 61–65.
9. 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. 21. № 1. С. 40–42.
10. Гусева Н. Г. Кисти – зеркало феномена Рейно // Consilium medicum. 2005. Т. 7. № 2. Режим доступа к статье http://www.consilium-medicum.com/media/consilium/05_02/90.shtml, свободный. Аналог печатного издания.
11. Панин Л. Е. Полярный метаболический тип // Вопросы экологии человека в условиях Крайнего Севера. Новосибирск: Наука, 1979. С. 23–32.
12. 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.
13. Хаснулин В. И., Собакин А. К., Хаснулин П. В., Бойко Е. Р. Подходы к районированию территорий России по условиям дискомфортности окружающей среды для жизнедеятельности населения // Бюллетень СО РАМН. 2005. Т. 117. № 3. С. 106–111.
14. Bailey S. R., Mitra S., Flavahan S., Flavahan N. A. 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.
15. Block J. A., Sequeira W. Raynaud's phenomenon // Lancet. 2001. Vol. 357. P. 2042–2049.
16. Campbell D. A., Kay S. P. What is cold intolerance? // J. Hand. Surg. (Br). 1998. Vol. 23. № 1. P. 3–5.
17. Cooke J. P., Marshall J. M. Mechanisms of Raynaud's disease // Vascular Medicine. 2005. Vol. 10. P. 293–307.
18. Ervasti O., Virokannas H., Hassi J. Frostbite in reindeer herders // Arct. Med. Res. 1991. Vol. 50 (Suppl. 6). P. 89–93.
19. Generini S., Kahaleh B., Matucci-Cerinic M. et al. Raynaud's phenomenon and systemic sclerosis // Ann. Ital. Med. Int. 1996. Vol. 11. № 3. P. 125–131.
20. Hassi J., Juoperi K., Remes J. et al. Cold exposure and cold-related symptoms among Finns aged 25–64 years // 2nd Int. Conf. on Human-Environmental System. 1998. P. 271–274.
21. 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.
22. Herrick A. L. Pathogenesis of Raynaud's phenomenon // Rheumatology (Oxford). 2005. Vol. 44. № 5. P. 587–596.
23. Kanagy N. L. Alpha(2)-adrenergic receptor signaling in hypertension // Clin. Sci. 2005. Vol. 109. № 5. P. 431–437.
24. Leonard W. R., Snodgrass J. J., Sorensen M. V. Metabolic adaptation in Indigenous Siberian Populations // Annu. Rev. Antropol. 2005. Vol. 34. P. 451–471.
25. Leppäluoto J., Pääkkönen P., Korhonen I., Hassi J. Pituitary and autonomic responses to cold exposures in man // Acta Physiol. Scand. 2005. Vol. 184. P. 255–264.
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. Maximov A. L., Koscheyev V. S. Thermal profile of the hands as an indicator of the human adaptation to extreme environments // VIII World Congress of ISAM. Moscow, 2006. P. 25–26.
28. Suter L. G., Murabito J. M., Felson D. T., Fraenkel L. The incidence and natural history of Raynaud's phenomenon in the community // Arthritis Rheum. 2005. Vol. 52. № 4. P. 1259–1263.
29. Virokannas H., Anttonen H. Risk of frostbite in vibration-induced white finger cases // Arct. Med. Res. 1993. Vol. 52. P. 69–72.

УДК 338.43

ЛАРИСА НИКОЛАЕВНА МУРАВЬЯ

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры зоотехнии, товароведения и экспертизы продовольственных товаров агротехнического факультета ПетрГУ
bolg@psu.karelia.ru

ЕЛЕНА АНДРЕЕВНА КРАСКОВА

студентка 5-го курса агротехнического факультета ПетрГУ
bolg@psu.karelia.ru

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА МОЛОКА

В статье приведен анализ экономической эффективности производства молока в одном из крупных сельскохозяйственных предприятий Республики Карелия – агрокомплексе им. Зайцева. Рассмотрен маржинальный анализ.

Ключевые слова: производство молока, финансовая деятельность, безубыточность, маржинальный анализ

Развитие рынка молока и молочных продуктов зависит от многих факторов, основными из которых являются государственная поддержка сельского хозяйства и протекционистская политика против ввоза молочного сырья и молочных продуктов, совершенствование интеграционных связей между сельхозпроизводителями и переработчиками молока, совершенствование кормовой базы молочного скотоводства. Существенное значение приобретает снижение себестоимости продукции молочного скотоводства на базе специализации и концентрации производства, комплексной механизации и автоматизации производственных процессов, повышения материальных и моральных стимулов [2].

Национальный проект «Развитие АПК» основан на принципах рыночной экономики. В условиях жесткой конкуренции каждое хозяйство должно стремиться поставлять на рынок продукцию высокого качества, произведенную с наименьшими затратами средств и труда. Поэтому на предприятии целесообразно проводить анализ экономической эффективности производства того или иного вида выпускаемой продук-

ции. Развитие рынка молока на примере конкретного хозяйства заслуживает внимания и изучения.

ОАО «Агрокомплекс им. Зайцева» – крупное агропромышленное предприятие, расположенное в пригороде г. Петрозаводска Республики Карелия. Общая земельная площадь предприятия составляет 4248 га, в том числе 2704 га сельскохозяйственных угодий. Главная отрасль хозяйства – молочное скотоводство.

Цель работы – оценить экономическую эффективность производства молока в агрокомплексе им. Зайцева и предложить пути ее повышения. В задачи исследования входило: проанализировать финансовую деятельность агрокомплекса; охарактеризовать молочную продуктивность коров и провести маржинальный анализ эффективности производства молока.

Материалом исследования служили результаты бонитировки животных, годовая бухгалтерская отчетность предприятия с 2000 по 2005 год. Оценка финансовой деятельности агрокомплекса была сделана на основе вертикального анализа бухгалтерской отчетности за 2004–2005 годы. Был проведен комплексный анализ фи-

нансового состояния предприятия за 2004–2005 годы, который позволил дать оценку надежности агрокомплекса с точки зрения его платежеспособности, определить тип финансовой устойчивости.

Анализ имущественного положения предприятия показал, что общая стоимость имущества увеличилась в 2005 году по сравнению с 2004 годом на 22,7 млн руб., или на 35,4 %. Политика агрокомплекса была направлена, прежде всего, на увеличение основных средств, которые возросли на 60,2 %.

Общую финансовую устойчивость агрокомплекса мы охарактеризовали при помощи следующих коэффициентов (табл. 1). Коэффициент автономии в 2005 году незначительно снизился, но был выше нормативного уровня (0,5). Это говорит о том, что имущество агрокомплекса на 58 % сформировано за счет собственных средств. Коэффициент концентрации заемного капитала агрокомплекса показывает, что доля заемных средств (42,4 %) меньше, чем собственных (57,6 %). Коэффициент соотношения заемных и собственных средств меньше 1, это указывает на ухудшение финансового положения предприятия, так как связано с увеличением доли заемных средств по сравнению с собственным капиталом.

Оценка состояния оборотных активов с точки зрения их обеспечения собственными оборотными средствами представлена в табл. 2.

Коэффициент финансовой независимости в части формирования запасов и затрат составил в 2004 году -0,279, в 2005 году – -0,200. Запасы и затраты вообще не покрываются собственным капиталом. Коэффициент финансовой независимости в части формирования всех оборотных активов меньше единицы. Зависимость от заемных источников чрезвычайно велика. Низкое значение коэффициента маневренности говорит о том, что все собственные средства закреплены в ценностях иммобильного характера, которые являются менее ликвидными, то есть не могут быть достаточно быстро преобразованы в денежную наличность.

Для оценки финансовой устойчивости агрокомплекса также использовали методику расчета трехкомпонентного показателя типа финансового состояния, рекомендованную Л. Бояльской [1].

Таблица 1

Показатели общей финансовой устойчивости агрокомплекса (в долях единицы)

Показатели	Год		Изменения (+, -)
	2004	2005	
Коэффициент автономии	0,633	0,576	-0,057
Коэффициент концентрации заемного капитала	0,367	0,424	0,057
Коэффициент соотношения заемных и собственных средств	-2,725	-2,358	0,366

Таблица 2

Динамика показателей финансовой устойчивости, характеризующих обеспеченность собственными оборотными средствами

Показатели	Год		Изменения (+, -)
	2004	2005	
Коэффициент обеспеченности запасов и затрат	-0,279	-0,200	0,079
Коэффициент обеспеченности оборотных активов	-0,251	-0,173	0,078
Коэффициент маневренности	-0,194	-0,109	0,086

Согласно методике, агропредприятия классифицируются по степени их финансовой устойчивости как абсолютно устойчивые, нормальные, неустойчивые и кризисные.

Согласно нашим расчетам, трехкомпонентный показатель был меньше нуля. Следовательно, агрокомплекс характеризуется кризисным финансовым состоянием, при котором предприятие полностью зависит от заемных источников финансирования. Собственного капитала, долго- и краткосрочных кредитов и займов не хватает для финансирования материальных оборотных средств, пополнение запасов идет за счет средств, образующихся в результате погашения кредиторской задолженности. Предприятие находится на грани банкротства, так как в данной ситуации денежные средства, краткосрочные финансовые вложения не покрывают даже кредиторской задолженности. Финансовое состояние агрокомплекса с позиции краткосрочной перспективы мы оценили по показателям ликвидности и рентабельности. В табл. 3 отражена динамика показателей финансовой устойчивости предприятия за 6 лет.

Коэффициент текущей ликвидности за период с 2000 по 2003 год выше нормативного (1–2). На 2004 год данный коэффициент равен 1,35, а на 2005 год – 1,09. Если хозяйство переступит предел единицы, оно окажется банкротом.

Коэффициент срочной ликвидности снизился с 0,35 в 2000 году до 0,147 в 2005 году, став значительно ниже нормативного (0,7–0,8). Коэффициент абсолютной ликвидности ничтожно мал, и по состоянию на 2005 год предприятие смогло бы погасить без дебиторской задолженности только 5 % долгов из краткосрочных финансовых вложений и денежных средств. Коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами показал, что 17 % приходится на собственные средства организации.

Коэффициент оборачиваемости оборотных активов имел довольно низкие значения. В 2005 году он снизился по сравнению с 2003 годом на 0,09 оборота. В 2005 году каждый рубль, вложенный в оборотный капитал, совершал 0,9 оборота. Низкие значения данного коэффициента свидетельствуют

Таблица 3

Динамика показателей ликвидности и рентабельности предприятия

Показатели	Год					
	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Коэффициент текущей ликвидности	2,59	2,08	2,37	4,88	1,35	1,09
Коэффициент срочной ликвидности	0,350	0,260	0,240	0,220	0,136	0,147
Коэффициент абсолютной ликвидности	0,120	0,0072	0,019	0,045	0,056	0,050
Коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами	0,49	0,44	0,54	0,25	0,25	0,17
Коэффициент оборачиваемости оборотных активов	1,49	1,39	1,59	1,76	1,60	1,67
Рентабельность по животноводству без учета дотаций, %	-0,7	13,5	1,5	-12,4	-29,4	-16,4
Рентабельность по организации без учета дотаций, %	-22,2	22,8	16,1	-5,3	-26,4	-16,5

Таблица 4

Динамика основных показателей эффективности производства молока

Показатели	Год					
	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Поголовье крупного рогатого скота, всего	2456	2408	2510	2558	2582	1829
в том числе: коров, голов	1000	1000	1000	1000	990	921
Средний удой на 1 фуражную корову, кг	3803	3908	4701	4624	4113	5154
Валовой удой, ц	38030	39080	47010	46240	40725	47480
Затраты кормов, ц к. ед.: на 1 голову	44,49	45,33	48,89	48,08	37,01	56,69
на 1 кг молока, к. ед.	1,17	1,16	1,04	1,04	0,90	1,10
в том числе: концентраты	0,35	0,35	0,42	0,42	0,47	0,45
Реализовано молока, ц	35120	35750	43080	42520	37772	44583
Товарность молока, %	92,4	91,5	91,7	91,9	92,7	93,8
Себестоимость 1 ц молока, руб.	368	400	450	705	816	916
Рентабельность по молоку с учетом дотаций, %	23,3	27,3	21,9	17,0	14,9	18,2
Рентабельность (убыточность) по молоку без учета дотаций, %	8,7	19,4	7,0	-2,1	-3,1	-3,3

о том, что размер выручки недостаточен для покрытия в полном объеме названных активов, что привело к их перерасходу и неэффективному использованию.

За последние три анализируемых года деятельность агрокомплекса была убыточна. Уровень убыточности, хотя и повысился на 10 процентных пункта, все же имеет отрицательное значение (-16,5 %). В агрокомплексе рентабельным является только производство овощей открытого грунта (+5,8 %), но предприятие не развивает данный вид производства и сокращает посевные площади. При развитии овощеводческого направления агрокомплекс смог бы прочно занять нишу на рынке и параллельно с этим снабжать отрасль животноводства корнеклубнеплодами собственного производства, которые являются молокогонными кормами и способствуют увеличению продуктивности животных.

Обеспечение нормального функционирования предприятия за анализируемый период шло за счет субсидий, которые поступали из республиканского и федерального бюджета через Министерство сельского, рыбного хозяйства и экологии РК. В 2005 году агрокомплексу было перечислено 15 млн руб., в том числе на повышение продуктивности коров – 5,4 млн. руб., на реализованное молоко – 9,0 млн руб. Поэтому рентабельность молока с учетом дотаций составила 14,9 % (2004 г.) и 18,2 % (2005 г.).

Таким образом, агрокомплекс им. Зайцева находился в кризисном финансовом состоянии, которое могло привести к банкротству. Основным способом выхода из сложившейся ситуации является увеличение доходности предприятия путем увеличения производства молока высокого качества и пополнение источников собственных средств за счет ускорения оборачиваемости запасов и дополнительного привлечения долгосрочных кредитов и заемных средств в оборот хозяйства. Также не менее важна поддержка государства субсидиями, дотациями, снижением процентных ставок по кредитам банков, поддержка рынка местного товаропроизводителя.

В агрокомплексе создано высококровное айрширское стадо, доля чистопородных животных и помесей IV поколения в 2005 году достигла 96,6 %, доля коров – 95,5 %. Классность скота достаточно хорошая, к классу элита-рекорд и элита относятся 86,8 % животных, коров – 81,5 %. Живая масса телок и коров невысокая и не соответствует оптимальной живой массе айрширской породы. Средняя живая масса взрослых коров по стаду в 2005 году составила 455 кг.

Основные показатели эффективности производства молока в агрокомплексе им. Зайцева представлены в табл. 4.

В 2005 году поголовье крупного рогатого скота составило 1829 голов, в том числе коров молочного стада – 921 голову. В 2005 году по сравнению с 2000 годом поголовье скота сократилось на 25,5 %, поголовье коров – на 7,9 %.

Средний удой на фуражную корову непрерывно возрастал с 3803 кг в 2000 году до 5154 кг в 2005 году. Средняя сдаточная жирность молока за данный период варьировала в пределах 3,80–4,10 %. Максимальный валовой надой был получен в 2002 и 2005 годах. При проведении факторного анализа установлено, что в 2005 году по сравнению с 2000 годом рост валового производства молока составил 24,8 %, или 9450 ц, главным образом за счет повышения продуктивности на 36 %.

Важным условием повышения молочной продуктивности коров является создание прочной кормовой базы и совершенствование системы кормления. О качестве кормов косвенно можно судить по их затратам на единицу продукции. За анализируемый период уровень кормления коров увеличивался и в 2005 году был максимальным – 5669 кормовых единиц, что позволило получить самый высокий удой – 5154 кг молока от коровы в год. Затраты кормов на 1 кг молока немного выше нормативных показателей – 1,10 кормовой единицы, в том числе концентратов – 0,45 кормовой единицы. В хозяйствах применяют концентрированный тип кормления скота. В рационах коров завышена доля наиболее дорогих кормов – концентратов, а доля более дешевых – грубых и зеленых – находится ниже нормы. На корма приходится основная доля затрат (48,6 %) в структуре себестоимости молока. Для сокращения данной статьи затрат рекомендуем увеличить долю кормов собственного производства – силоса и зеленых, и оптимизировать расход концентратов.

Рынок молока является важнейшей частью финансовой деятельности предприятия. Товарность молока за рассматриваемый период изменялась незначительно и находилась в пределах 91–92 %. Высокая товарность была в 2005 году – 93,8 %. Наибольшее количество молока агрокомплекс реализует государственным организациям по заключенным договорам, в том числе на Петрозаводский молочный комбинат – 91 %. Качество реализованного молока достаточно высокое – 98,6 % молока 0-го и 1-го сорта. Качество молока влияет на величину прибыли. Потери от реализации некачественного молока в 2005 году составили 502,6 тыс. руб., или 1,46 % от суммы денежной выручки.

В 2005 году в агрокомплексе сдан в эксплуатацию первый в Карелии автоматизированный доильный зал, оснащенный оборудованием шведской фирмы De Laval. Новая технология позволяет максимально механизировать все технологические процессы по уходу за скотом, повысить качество доения и самого молока.

Общий экономический кризис в стране, в том числе и в сельском хозяйстве, не обошел стороной и агрокомплекс. Диспаритет цен, удорожание кормов сказались на себестоимости продукции животноводства. Этот показатель непрерывно растет и за последние 3 года увеличился в 1,3 раза. Тем не менее в этих трудных условиях, когда многие сельскохозяйственные

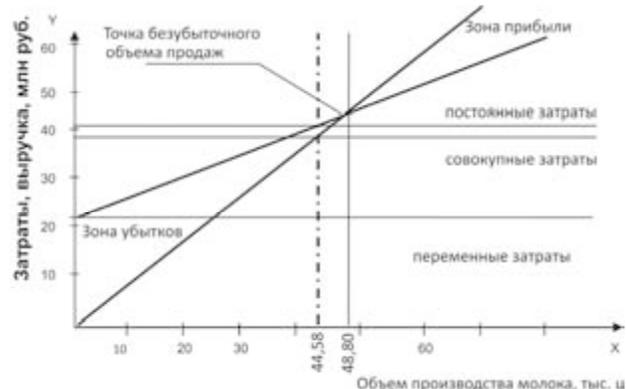
предприятия Республики Карелия прекратили свое существование, агрокомплекс устоял.

С 2000 по 2002 год производство молока на предприятии было прибыльным. За последние три года цена реализации молока в агрокомплексе ниже себестоимости, и вследствие этого – убыточность производства. Государственная поддержка агрокомплекса посредством субсидий и дотаций делает отрасль молочного скотоводства прибыльной: рентабельность на протяжении всех анализируемых лет была на уровне 14,9–23,3 %.

При расчете эффективности производства молока использовали маржинальный анализ по методике В. Свободина и М. Свободиной [3]. При проведении маржинального анализа наблюдаются следующие условия: совокупные издержки делятся на постоянные и переменные; общие переменные издержки изменяются прямо пропорционально объему производства (реализации) продукции; общие постоянные издержки сохраняются неизменными в пределах данной производственной мощности предприятия; уровень цен на продукцию и производственные ресурсы не меняется, выручка пропорциональна объему реализованной продукции; объем продаж равен объему производства, то есть запасы готовой продукции остаются неизменными; ассортимент продукции в рассматриваемый период неизменен.

Маржинальный анализ безубыточности производства молока был проведен с помощью графического и аналитического методов по результатам работы агрокомплекса за 2004–2005 годы. Графический метод анализа безубыточности производства молока за 2005 год представлен на рисунке. Точка безубыточности (безубыточного объема продаж) является пересечением линий выручки и совокупных затрат и отражает объем реализации продукции, при котором прибыль равна 0. Разность по вертикали между линиями выручки и совокупных затрат слева от точки безубыточности показывает убыток, справа – прибыль.

В 2005 году безубыточный объем производства молока должен быть 48 806 ц. Фактически агрокомплекс реализовал 44 583 ц молока, то есть производство молока оказалось убыточным.



Графический метод анализа безубыточности производства молока в 2005 году

Таблица 5

Эффективность производства молока в агрокомплексе в 2004–2005 годах

Показатели	2004 г.	С учетом изменения			
		цены	переменных затрат	постоянных затрат	совокупности факторов
Цена, руб./ц	784	878	784	784	878
Переменные затраты, руб./ц	321	321	495	321	495
Маржинальный доход, руб./ц	463	557	289	463	383
Постоянные затраты, тыс. руб.	18 693	18 693	18 693	18 693	18 693
Безубыточный объем реализации, ц	40 374	33 560	64 682	40 374	48 806

Аналитический метод расчета безубыточного объема продаж и влияние ряда факторов на экономические показатели производства молока в агрокомплексе за 2005 год представлены в табл. 5. В качестве базового варианта взят 2004 год. Цена реализации была равна 784 руб. за 1 ц молока, удельные переменные затраты на единицу продукции – 321 руб./ц, постоянные на весь объем производства молока – 18,6 млн руб., маржинальный доход – 463 руб./ц, безубыточный объем реализации составил 40 374 ц молока. В 2005 году цена реализации возросла до 878 руб./ц. Согласно расчетам, безубыточный объем продаж составил 48 806 ц.

Факторный анализ показал, что при росте цены реализации до 878 руб./ц безубыточный объем реализации молока уменьшается на 6 814 ц, величина маржинальной прибыли возрастает до 557 руб./ц молока. Переменные затраты на единицу продукции существенно растут и составляют 495 руб./ц (возрастают цены на электроэнергию, топливо, корма, тарифы на перевозки). Это привело к тому, что маржинальной прибыли агрокомплекс в 2005 году не получил. Поэтому величину постоянных затрат оставили на уровне 2004 года, так как она не зависит от объема производства и в пределах двух лет меняется незначительно. Изменения всех факторов в целом повлияли на увеличение безубыточного объема продаж до 48 806 ц, что на 8 432 ц выше, чем в базисном году.

При фактическом объеме реализации молока в 2005 году (44 583 ц), сумме переменных затрат (495 руб./ц) и сумме постоянных затрат (18,6 млн руб.) минимальная цена реализации, необходимая для покрытия постоянных расходов предприятия, должна быть 916 руб. за 1 ц молока. Установление цены ниже этого уровня невы-

Таблица 6

Обоснование получения плановой прибыли

Показатели	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Поголовье коров	921	1000	1000
Удой на фуражную корову, кг	5150	5500	6000
Валовой надой, ц	47 431	55 000	60 000
Реализовано молока, ц	44 110	51 150	55 800
Маржинальный доход, руб./ц	383	383	383
Плановая прибыль, тыс. руб.	-1 798	897	2 678

годно для агрокомплекса. Однако Петрозаводский молочный комбинат «Славо» в зависимости от финансового состояния диктует свою ценовую политику агрокомплексу.

Используя маржинальный анализ, меняя поголовье коров и уровень продуктивности, можно рассчитать величину плановой прибыли и прогнозировать уровень этих показателей на перспективу (табл. 6).

Рассмотрим три варианта производства молока в агрокомплексе. Вариант 1 – поголовье коров и удой на фуражную корову на уровне 2005 года – 921 голова, 5150 кг. При товарности молока 93 % и рассчитанном маржинальном доходе 383 руб./ц агрокомплекс будет иметь 1,8 млн рублей убытков. Если поголовье коров в агрокомплексе будет на уровне 2004 года – 1000 голов, тогда для получения прибыли 897 тыс. руб. необходимо повысить удой на 1 корову до 5500 кг (вариант 2), а для получения прибыли 2,6 млн руб. – до 6000 кг молока (вариант 3).

Выводы

Основным способом выхода из кризисной ситуации является пополнение источников собственных средств, оптимизация их структуры за счет накопления нераспределенной прибыли и распределенной прибыли после налогообложения при условии роста этих фондов.

Для увеличения производства молока необходимо стабилизировать численность поголовья коров, повысить продуктивность коров за счет создания соответствующей кормовой базы и использования современной технологии производства молока, основанной на беспривязном содержании стада. Это позволит улучшить качество молока и уменьшить его себестоимость.

Специалистам агрокомплекса следует эффективно управлять издержками производства, что позволит получать реальную информацию о себестоимости продукции и о ее позиции на рынке, наладить выпуск конкурентоспособной продукции за счет более низких издержек и, следовательно, цен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бояльская Л. Л. Способ оценки собственных финансовых возможностей сельскохозяйственных товаропроизводителей // Финансы и кредит. 2002. № 6. С. 44–46.
2. Пястолов С. М. Экономический анализ деятельности предприятий. М.: Академический Проект, 2004. 576 с.
3. Свободин В., Свободина М. Маржинальный анализ эффективности производства // АПК: экономика и управление. 2001. № 11. С. 67–70.

УДК 518.61

ЕВГЕНИЙ КОНСТАНТИНОВИЧ БЕЛЫЙ

кандидат технических наук, доцент кафедры математического моделирования систем управления математического факультета ПетрГУ
belyi@psu.karelia.ru

ГАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ ИОФФЕ

врач-радиолог высшей категории Республиканской больницы Министерства здравоохранения Республики Карелия
hospital@medecine.karelia.ru

МИХАИЛ СЕРГЕЕВИЧ КРУПКО

ведущий инженер Республиканской больницы Министерства здравоохранения Республики Карелия
hospital@medecine.karelia.ru

**ЦИРКУЛЯЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТА РАДИОФАРМАЦЕВТИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА
В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА**

В статье предлагается математическая модель транспорта в организме человека внутривенно введенного радиофармацевтического препарата. Модель может быть обобщена и на более широкий класс фармацевтических препаратов.

Ключевые слова: радионуклидная диагностика, фармацевтический препарат, циркуляционная модель

В клинической практике обычно находят применение наиболее простые модели исследуемых процессов. Это связано с тем, что доступная информация не позволяет качественно идентифицировать параметры «сложной» модели, детально описывающей процесс. Однако построение и исследование «сложных» моделей не менее важно, поскольку позволяет не только получать «простые» модели после введения тех или иных упрощений, но и изучать условия адекватности «простых» моделей поставленным задачам. В данной статье мы предлагаем модель, описывающую наиболее общие принципы транспорта радиофармацевтического препарата (РФП) в организме человека.

Будем считать, что радиофармацевтический препарат в течение исследования не вступает в химические реакции с другими веществами и со временем выводится из организма. С такой ситуацией можно встретиться, например, в медицинской радиологии при исследовании функций почек, когда в качестве индикатора используют гиппуран-йод-131 [1], [2], который является продуктом жизнедеятельности человека и вы-

водится из его организма через почки. Таким образом, нас будет интересовать:

- транспорт РФП по кровеносным сосудам,
- транспорт РФП между сосудом и прилегающим к нему внесосудистым пространством,
- транспорт РФП из организма.

Для определенности рассмотрим случай, когда РФП является продуктом жизнедеятельности (ПЖ) и выводится из организма через почки. За сутки сердце взрослого человека перекачивает около 7000 литров крови, около 1500 литров проходит через почки. Процесс выведения ПЖ из организма определяется не только эффективностью функций почек, но также в значительной мере и спецификой его транспорта вне почек. При этом процессы образования и выведения ПЖ протекают параллельно в течение всей жизни человека. Будем считать, что:

- во время исследования указанные выше процессы находятся в состоянии равновесия, то есть все потоки ПЖ внутри организма стационарны,
- ПЖ выводится из организма только через почки,

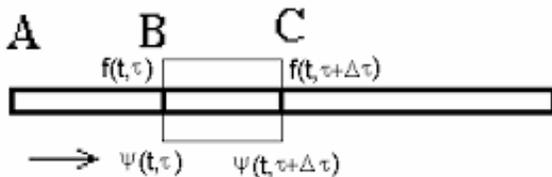
- масса введенного внутривенно РФП, то есть продукта жизнедеятельности, меченного радиоактивным изотопом, достаточно мала и не нарушает установившегося равновесия.

1. ПРОЦЕСС ТРАНСПОРТА РФП ПО КРОВЕНОСНОМУ СОСУДУ

В процессе движения РФП по кровеносным сосудам происходит переход препарата из сосудистого пространства (СП) во внесосудистое пространство (ВП) и обратно. Среднее время движения крови по «большому кругу» примерно равно 1,5 минуты, при этом частица всего несколько секунд движется в больших сосудах, а все оставшееся время приходится на микроциркуляцию, то есть на движение по микроскопическим сосудам. В одном кубическом сантиметре натренированной мышцы может быть порядка 5000 таких сосудов. Вполне естественно считать, что практически весь обмен РФП между СП и ВП происходит на уровне микроциркуляции, где СП и ВП пространственно практически неотделимы. Тогда движением по большим сосудам можно пренебречь. Представим систему кровеносных сосудов, по которым проходит элементарный объем ΔV крови вместе с РФП, в виде трубки (см. рисунок). Концентрацию препарата внутри сосуда, то есть его массу, приходящуюся на единицу объема крови, обозначим как $f(t, \tau)$, где t – время попадания элементарного объема на вход трубки (на рисунке – точка А), τ – время прохождения препарата от А до В. Аргумент τ , таким образом, можно рассматривать как координату точки сосуда, то есть как длину пути АВ. В процессе перемещения РФП с элементарным объемом крови ΔV вдоль сосуда происходит также движение препарата между сосудом и ВП. Введем вспомогательную функцию

$$\psi(t, \tau) = \lim_{\Delta\tau \rightarrow 0} \frac{M_{\Delta\tau}}{V_{\Delta\tau}} -$$

предел отношения массы препарата $M_{\Delta\tau}$, находящегося во ВП, непосредственно прилегающем к участку сосуда $[\tau, \tau + \Delta\tau]$, к объему $V_{\Delta\tau}$ этого участка при $\Delta\tau \rightarrow 0$.



Участок сосуда, по которому проходит элементарный объем крови

При прохождении элементарным объемом ΔV участка ВС масса РФП изменится в нем на величину $\Delta f \cdot \Delta V = (f(t, \tau + \Delta\tau) - f(t, \tau)) \cdot \Delta V$. Со-

ответственно, масса препарата в прилегающем к участку $[\tau, \tau + \Delta\tau]$ ВП изменится на величину $\Delta\psi \cdot \Delta V = (\psi(t + \Delta\tau, \tau) - \psi(t, \tau)) \cdot \Delta V$.

$$f(t, \tau + \Delta\tau) - f(t, \tau) = \frac{\partial f(t, \tau)}{\partial \tau} \Delta\tau + o(\Delta\tau), \quad (1)$$

$$\psi(t + \Delta\tau, \tau) - \psi(t, \tau) = \frac{\partial \psi(t, \tau)}{\partial t} \Delta\tau + o(\Delta\tau), \quad (2)$$

где $\lim_{\Delta\tau \rightarrow 0} \frac{o(\Delta\tau)}{\Delta\tau} = 0$.

Сопоставив формулы (1) и (2) и учитывая условие баланса $\Delta f \cdot \Delta V + \Delta\psi \cdot \Delta V = 0$ при $\Delta\tau \rightarrow 0$, получим уравнение непрерывности

$$\frac{\partial f(t, \tau)}{\partial \tau} + \frac{\partial \psi(t, \tau)}{\partial t} = 0. \quad (3)$$

Так как потоки ПЖ в организме мы считаем установившимися, количество препарата, уходящего в единицу времени из элементарного объема крови ΔV во ВП, пропорционально его концентрации $f(t, \tau)$, а количество препарата, переходящего в единицу времени из ВП в объем ΔV , пропорционально $\psi(t, \tau)$. Отсюда

$$\frac{\partial f(t, \tau)}{\partial \tau} = -\alpha f(t, \tau) + \beta \psi(t, \tau), \quad (4)$$

где α и β – некоторые коэффициенты, которые мы будем считать в любой момент времени на любом участке сосуда постоянными величинами.

Взяв производную по t от левой и правой частей уравнения (4), получим

$$\frac{\partial^2 f(t, \tau)}{\partial t \partial \tau} = -\alpha \frac{\partial f(t, \tau)}{\partial t} + \beta \frac{\partial \psi(t, \tau)}{\partial t}. \quad (5)$$

Подстановка (3) в (5) дает

$$\frac{\partial^2 f(t, \tau)}{\partial t \partial \tau} + \alpha \frac{\partial f(t, \tau)}{\partial t} + \beta \frac{\partial f(t, \tau)}{\partial \tau} = 0. \quad (6)$$

Обозначим концентрацию препарата, выходящего с кровью из сердца, через $F(t)$ и учтем, что обменом РФП между СП и ВП при движении по большим сосудам мы пренебрегаем. Изменение концентрации препарата при движении по сосудам подчиняется уравнению (6). Поскольку до момента $t = 0$ активность не вводилась в организм, для

уравнения должны выполняться начальные условия $f(0, \tau) = 0$, $f(t, 0) = F(t)$. Полагаем функцию $F(t)$ непрерывно дифференцируемой. Тогда, так как значение $f(t, \tau)$ известно на двух пересекающихся прямых, параллельных координатным осям, уравнение имеет единственное решение [3; 63–65].

Решив уравнение (6), приходим к равенству

$$f(t, \tau) = e^{-\alpha\tau} F(t) - e^{-\alpha\tau} \sqrt{\alpha\beta\tau} \int_0^t \frac{J_1(2\sqrt{\alpha\beta\tau \cdot z})}{\sqrt{z}} e^{-\beta z} F(t-z) dz, \quad (7)$$

где J_1 – функция Бесселя.

Выражение под знаком интеграла не определено при $z = 0$. Однако эта неопределенность легко устраняется, так как отношение

$$\frac{J_1(2\sqrt{\alpha\beta\tau \cdot z})}{\sqrt{z}}$$

при $z \rightarrow 0$ имеет конечный предел.

2. ТРАНСПОРТ ПРЕПАРАТА В СИСТЕМЕ КРОВООБРАЩЕНИЯ

Покинув сердце, некоторая часть РФП снова возвращается в сердце, а часть, в соответствии с условиями нашей модели, покидает систему навсегда. Пусть $\rho(\tau) \cdot d\tau$ – доля РФП, которая, покинув сердце, вернется в сердце через время τ . Таким образом, $\rho(\tau)$ – плотность распределения доли выходящего из сердца препарата по траекториям различной длины τ . Тогда

$$s = \int_0^{\infty} \rho(\tau) d\tau < 1.$$

Величина $1-s$ указывает, какая часть препарата навсегда покидает систему, и таким образом в нашем случае характеризует суммарную функцию почек по очищению крови от препарата или, в общем случае, транспорт РФП из организма.

Масса РФП, покидающего сердце в момент t , складывается из массы препарата, введенного в этот момент в систему извне (внутривенно), и интегральной суммы по массам препарата, поступившего из различных сосудов. Сказанное выше справедливо и для массы препарата, со-

державшегося в единичном объеме крови, покидающей в данный момент сердце, то есть для концентрации крови. Тогда указанную закономерность можно выразить равенством:

$$F(t) = \varphi(t) + \int_0^t \rho(\tau) f(t - \tau, \tau) d\tau,$$

где $\varphi(t)$ – концентрация, привнесенная за счет внутривенного введения препарата, $\rho(\tau)$ – плотность распределения массы вышедшего из сердца препарата по линиям тока различной длины τ , $f(t, \tau)$ – заданная уравнением (7) функция, отражающая закон изменения концентрации препарата в элементарном объеме крови в процессе движения по сосудам, $F(t)$ – концентрация препарата в сердце. Величина $\varphi(t)$ обычно будет отлична от нуля только в начале исследования.

Таким образом, процесс транспорта введенного внутривенно РФП при изложенных выше допущениях можно описать системой уравнений.

$$F(t) = \varphi(t) + \int_0^t \rho(\tau) f(t - \tau, \tau) d\tau,$$

где $S = \int_0^{\infty} \rho(\tau) d\tau < 1$.

$$f(t, \tau) = e^{-\alpha\tau} F(t) - e^{-\alpha\tau} \sqrt{\alpha\beta\tau} \int_0^t \frac{J_1(2\sqrt{\alpha\beta\tau \cdot z})}{\sqrt{z}} e^{-\beta z} F(t-z) dz.$$

В рассмотренном нами случае мы могли бы вывести также уравнения, описывающие транспорт препарата, захваченного нефронами почек. Тогда в результате упрощений нашей модели можно получить более простые известные модели, например линейную камерную.

Полученные результаты можно обобщить и на случай транспорта произвольного фармацевтического препарата, учтя процессы разрушения препарата или его накопления в тех или иных органах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белый Е. К. Идентификация параметров математической модели с запаздывающим аргументом транспорта гиппурана-йод-131 в организме человека // Труды Петрозаводского университета. Прикладная математика и кибернетика. Вып. 4. 1995. С. 38–47.
2. Белый Е. К., Менделеев И. М., Иоффе Г. В. и др. Автоматизация ренографических исследований с помощью микро-ЭВМ // Медицинская радиология. 1986. № 5. С. 33–36.
3. Соболев С. Л. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1966. 444 с.

ЮРИЙ БОРИСОВИЧ ГОЛЬДШТЕЙН

кандидат технических наук, профессор кафедры механики
строительного факультета ПетрГУ
mech@psu.karelia.ru

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЧИСЛА ДВУХСТОРОННИХ И ОДНОСТОРОННИХ СВЯЗЕЙ НА КРИТИЧЕСКУЮ НАГРУЗКУ

Обсуждается влияние дополнительно накладываемых двухсторонних и односторонних связей на величину критической нагрузки упругой системы с конечным числом степеней свободы. Показано, что введение новых связей может оказать дестабилизирующее влияние на устойчивость конструкции с односторонними связями и привести к увеличению числа степеней свободы.

Ключевые слова: устойчивость, односторонняя связь, дестабилизирующее влияние, критическая сила, упругая система

Пусть все связи консервативной упругой системы с n степенями свободы являются двухсторонними, а нагрузка P – однопараметрической. Собственные значения $\lambda_1 < \lambda_2 < \dots < \lambda_n$ и собственные векторы $e_i = [u_{i1} \ u_{i2} \ \dots \ u_{in}]$, $i = 1, 2, \dots, n$, известны. Чтобы данная конструкция могла воспринять воздействие P_k , $k \geq 2$, отвечающее характеристическому числу λ_k , к ней надо добавить $k - 1$ двухсторонних связей. Но если дополнительно накладываемые связи являются односторонними, то их потребуется на единицу больше, то есть k . Этот результат был получен в работе [5] при помощи аппарата многомерной геометрии и линейной алгебры [2], [4]. О физической реализации дополнительно накладываемых связей речь не шла, конкретные примеры не рассматривались. Однако техника расстановки добавляемых связей и техника их математического описания также не лишены интереса, тем более что при обращении к физической стороне дела обнаруживаются обстоятельства, которые полезно иметь в виду при решении задачи устойчивости систем с односторонними связями. Последующий материал излагается с использованием примеров.

На рис. 1 изображена конструкция, для которой $n = 4$. Через r обозначена жесткость пружины, равная реактивному моменту, который возникает при относительном повороте соединяемых элементов на единицу. На этом же рисунке приведены все 4 формы потери устойчивости, характеризуемые векторами:

$$\begin{aligned} e_1 &= [1 \ 1,618034 \ 1,618034 \ 1], \\ e_2 &= [1 \ 0,618034 \ -0,618034 \ -1], \\ e_3 &= [1 \ -0,618034 \ -0,618034 \ 1], \\ e_4 &= [1 \ -1,618034 \ 1,618034 \ -1]. \end{aligned}$$

Ставится задача о постановке дополнительных связей, обеспечивающей возрастание критической силы до величины $P_3 = \lambda_3 r / l$. Это означает, что добавляемые связи должны препятствовать любым перемещениям в плоскости, натянутой на собственные векторы e_1 и e_2 , обеспечивая при этом возможность перемещений, диктуемых вектором e_3 , то есть перемещений, связанных равенствами

$$\begin{aligned}
 0,618u_1 + u_2 &= 0, & \text{Отсюда следует:} \\
 0,618u_1 + u_3 &= 0, & 0,618u_1 + u_2 &= 0, \\
 u_1 - u_4 &= 0. & & 0,618u_4 + u_3 &= 0.
 \end{aligned}
 \tag{1} \tag{2}$$

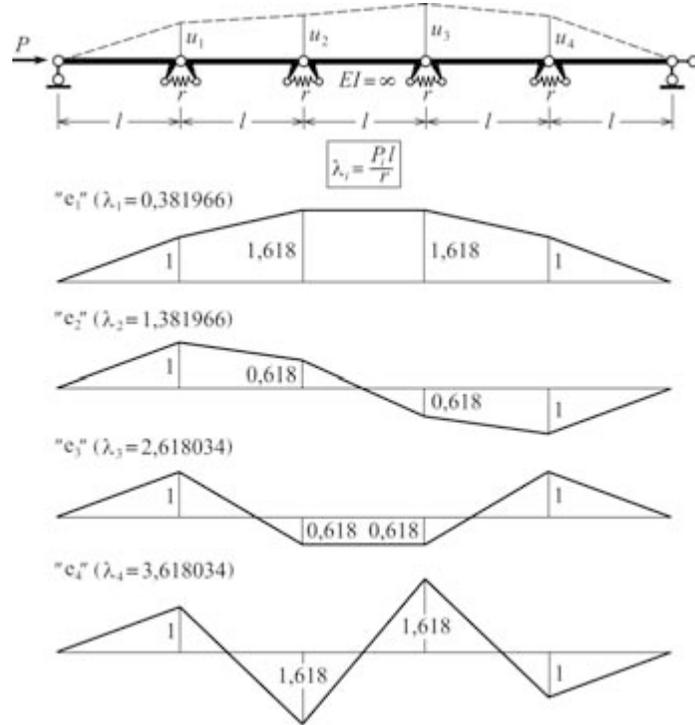


Рис. 1. Рассматриваемая конструкция и ее собственные векторы

P – сила, l – длина стержня, EI – изгибная жесткость, r – жесткость пружины, u_i – перемещение узла, λ_i – собственное значение, e_i – собственный вектор

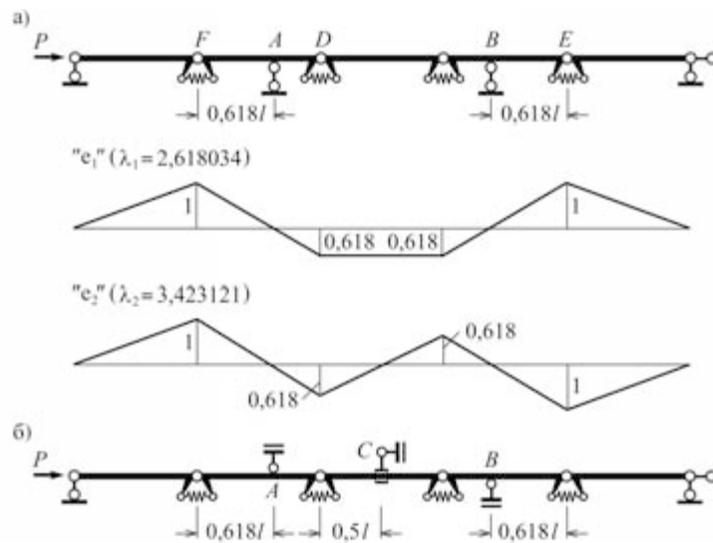


Рис. 2. Расстановка двухсторонних и односторонних дополнительных связей

P – сила, l – длина стержня, λ_i – собственное значение, e_i – собственный вектор

Связи (2) реализуются способом, указанным на рис. 2а. На этом же рисунке приведены обе формы потери устойчивости конструкции с дополнительными связями.

Пусть теперь добавляемые связи являются односторонними. В этом случае ограничения на компоненты вектора e_3 содержат неравенства:

$$\begin{aligned} 0,618u_1 + u_2 &\leq 0, \\ 0,618u_1 + u_3 &\leq 0, \\ -u_1 + u_4 &= 0. \end{aligned} \quad (1a)$$

Расстановка связей, обеспечивающая соблюдение условий (1а), приведена на рис. 2б. Опоры A и B препятствуют перемещениям примыкающих к ним точек оси конструкции вверх и вниз соответственно, связь C не позволяет центральному звену системы поворачиваться против часовой стрелки. Допустима также и такая расстановка односторонних связей, при которой их ориентация меняется на обратную.

Векторы e_1 и e_2 остаются такими же, что и при постановке дополнительных двухсторонних связей (см. рис. 2а). Однако имеется одна особенность. Если при добавляемых двухсторонних связях собственные векторы имеют себе симметричные, то есть наряду с e_1 и e_2 существуют векторы $-e_1$ и $-e_2$, то при подключении односторонних связей (см. рис. 2б) вектор $-e_2$ собственным вектором не является, ибо центральный диск конструкции по часовой стрелке поворачиваться не может.

В рассматриваемом примере запись и анализ ограничений типа (1) и (1а), которые накладываются на перемещения u_i , труда не составили. При решении задач большой размерности необходимо использовать специальные подходы к формированию ограничений на перемещения конструкции [1] и специальные методы решения систем неравенств и равенств, описывающих односторонние и двухсторонние связи [4]. В настоящей работе эти вопросы не обсуждаются.

Конструкция, изображенная на рис. 2б, при расчете на устойчивость рассматривается как система с двумя степенями свободы, которая имеет в своем составе двухсторонние и односторонние связи. Именно наличием односторонних связей она принципиально отличается от системы, представленной на рис. 1. Это отличие становится особенно наглядным при расстановке дополнительных связей, хотя трудности приходится преодолевать уже на стадии решения задачи на собственные значения. Если добавить к указанной выше конструкции двухстороннюю связь D (рис. 3), то задача на собственные значения получит решение

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 1,279241; \\ e_1 &= [-1 \ 0 \ 2,441518 \ 2,720759]. \end{aligned}$$

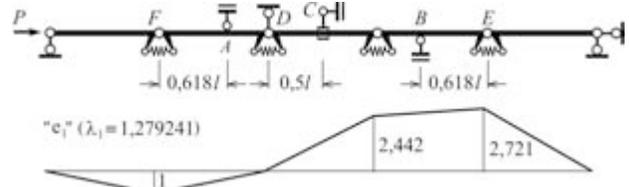


Рис. 3. Уменьшение критической нагрузки при добавлении связей

P – сила, l – длина стержня, λ_i – собственное значение, e_i – собственный вектор

Точно такими же будут характеристическое число и собственный вектор, если добавленная связь D будет односторонней, препятствующей отклонению шарнира D вниз. Видно, что критическая нагрузка уменьшилась почти вдвое по сравнению с той, которую воспринимала конструкция до постановки связи D .

Если помимо связи D добавить еще связь E : двухстороннюю или одностороннюю соответствующей ориентации, то конструкция по-прежнему будет обладать подвижностью, но теперь решение задачи устойчивости изменится:

$$\lambda_1 = 2,5; \quad e_1 = [-1 \ 0 \ 0 \ 0].$$

И снова характеристическое число получилось меньше значения $\lambda = 2,616$, отвечающего конструкции, изображенной на рис. 2а. Наконец, если две дополнительные связи разместить в точках D и F , то система сохранит две степени свободы, и задача на собственные значения будет иметь два решения:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 1,451416 < 2,618: e_1 = [0 \ 0 \ 1 \ 1,215250]; \\ \lambda_2 &= 3,215260: e_2 = [0 \ 0 \ 1 \ -0,548584]. \end{aligned}$$

Таким образом, добавление связей к конструкции с односторонними связями может привести как к увеличению, так и к уменьшению критической нагрузки, а также как к уменьшению, так и к увеличению степеней свободы системы. Аналогично, при устранении связей критическая нагрузка системы и число ее степеней свободы могут как уменьшаться, так и увеличиваться. Объяснить это можно следующим образом. При наложении (устранении) связей жесткость конструкции рассматриваемого типа увеличивается (уменьшается) либо остается прежней. С другой стороны, такие действия могут привести к блокировке (разблокировке) некоторых односторонних связей, что влечет за собой снижение (возрастание) жесткости системы. Каким в результате окажется баланс, зависит исключительно от конкретных условий задачи.

Эффект дестабилизирующего влияния добавляемых связей на устойчивость конструкции известен. Но если все связи конструкции двухсторонние, то такой эффект обнаруживается столь редко, что может быть продемонстрирован

лишь на специально подобранных примерах. В этих примерах рассматриваются конструкции, ряд стержней которых имеют растягивающие усилия, существенно влияющие на сопротивляемость конструкции потере устойчивости. Связи к этой конструкции добавляются так, чтобы растягивающие усилия нейтрализовать. При специальном подборе схемы конструкции, ее параметров и мест расстановки связей иногда удается уменьшить критическую нагрузку. Ведь не случайно в монографии, содержащей раздел,

который посвящен задачам устойчивости конструкций с двухсторонними связями, имеется следующая фраза: «Бытующий среди инженеров упрощенный взгляд о безусловном стабилизирующем влиянии связей может привести к грубым ошибкам» [3]. Ясно, что если бы обсуждаемая дестабилизация относилась к рядовым явлениям, то никакого «упрощенного взгляда» не было бы. Однако для систем с односторонними связями дело обстоит иначе, так как иной является причина дестабилизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдштейн Ю. Б. Динамика стержневых конструкций с односторонними связями. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2008. 35 с. Деп. в ВИНТИ 30.09.08. № 781-В2008.
2. Рашевский П. К. Риманова геометрия и тензорный анализ. М.: Наука, 1985. 664 с.
3. Сливкер В. И. Строительная механика. Вариационные основы. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2005. 708 с.
4. Черников С. Н. Линейные неравенства. М.: Наука, 1968. 488 с.
5. Шулъкин Ю. Б. Влияние односторонних связей на величину критической нагрузки // Исследования по механике строительных конструкций и материалов: Межвузовский тематический сборник трудов. Л.: ЛИСИ, 1985. С. 56–63.

УДК 676.051/.054

СЕРГЕЙ БОРИСОВИЧ ВАСИЛЬЕВ

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой целлюлозно-бумажных и деревообрабатывающих производств ПетрГУ

servas@psu.karelia.ru

ГЕННАДИЙ НИКОЛАЕВИЧ КОЛЕСНИКОВ

доктор технических наук, профессор кафедры механики ПетрГУ

kgn@sampo.ru

ЮЛИЯ ВАСИЛЬЕВНА НИКОНОВА

инженер-программист учебно-методического комплекса САПР строительного факультета ПетрГУ

stc@petrsu.ru

МАРИНА ИВАНОВНА РАКОВСКАЯ

кандидат технических наук, доцент кафедры механики ПетрГУ

mirrows@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ ЖЕСТКОСТИ КОРПУСА КОРООБДИРОЧНОГО БАРАБАНА НА ИЗМЕНЕНИЕ СИЛЫ СОУДАРЕНИЙ И ВЕЛИЧИНУ ПОТЕРЬ ДРЕВЕСИНЫ

В статье приведены результаты численного моделирования процесса взаимодействия балансов друг с другом и с корпусом корообдирочного барабана. Приведен анализ испытаний корообдирочных барабанов в промышленных условиях, который подтверждает достоверность результатов моделирования процесса с применением метода дискретных элементов. Выявлены причины образования отходов и обоснованы пути их уменьшения.

Ключевые слова: математическое моделирование, механическая система, корообдирочный барабан

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Окорка является необходимым звеном в процессе подготовки древесины к ее дальнейшему использованию в целлюлозно-бумажной промышленности. Степень окорки древесины определяется целями дальнейшей переработки. В соответствии с требованиями технологического процесса варки целлюлозы, массовая доля коры в щепе не должна превышать 3 % [5].

В современных условиях необходимо добиваться более полного использования сырья, поскольку любые отходы целлюлозно-бумажной промышленности неизбежно засоряют окружающую среду, создавая труднорешаемые экологические проблемы. Кора составляет значительную долю отходов, образующихся при производстве технологической щепы: 10–14 % от общего поступившего объема древесины [9]. Если к этому добавить потери заболонной части древесины в виде обломков и кусков (до 10 % от объема перерабатываемой древесины), образующихся при неправильной организации про-

цесса окорки балансов, то становится понятным, насколько актуальны проблемы, связанные с окоркой древесины на ЦБК.

На решение проблем, связанных с очисткой древесины от коры, ориентированы многие исследования, интенсивность которых с течением времени возрастает. Предлагаются новые варианты технологии очистки [18], [25]. Однако по условиям технической возможности и экономической целесообразности очистка древесины от коры в целях производства щепы осуществляется в настоящее время в корообдирочных барабанах [7], [17], [19]. В этой связи являются актуальными вопросы повышения эффективности работы корообдирочных барабанов [2], [6], [10]–[15]. Некоторые новые результаты в данной области исследований представлены, например, в обзоре [27].

Задача повышения эффективности работы корообдирочных барабанов становится все более актуальной, усложняются условия самой задачи, при решении которой необходимо учитывать объективно формирующиеся противоположные

тенденции. Например, одна из этих тенденций выражается в росте требований к качеству выпускаемой продукции, другая тенденция отражает снижение с течением времени качества вовлекаемой в переработку древесины. Вторая тенденция может рассматриваться как одно из проявлений экономического закона ограниченности, учитывающего предельные возможности природного ресурсного потенциала. Однако границы этих возможностей подвижны, они расширяются по мере совершенствования технологических процессов, что предполагает постановку соответствующих задач с учетом накопленного опыта и их решение с использованием новых подходов [23], [24]. При этом ключевую роль в обосновании новых подходов в условиях интенсивного развития вычислительной техники и информационных технологий объективно играет методология математического моделирования [22], конкретные примеры применения которой в затронутой области исследований можно найти в обзоре [27].

С точки зрения механики причина потерь древесины заключается в появлении избыточно больших сил контактного взаимодействия при соударениях балансов друг с другом и с корпусом барабана в процессе их окорки. Но при определенных условиях эти силы могут оказаться недостаточными для преодоления сцепления коры с древесиной. В этой связи представляет практический интерес исследование и уточнение закономерностей распределения данных сил в массиве балансов.

Следует отметить, что качественные характеристики и словесные формулировки, приближенно отражающие такие зависимости, известны. Например, известно, что при достаточно большой степени заполнения барабана в массиве сортиментов появляется область, в которой сила взаимодействия оказывается недостаточной для преодоления сцепления коры с древесиной [27]. Очевидно, уточнение этих характеристик с получением количественных оценок обеспечит возможность более тонкой настройки технологического процесса, что в конечном счете позволит повысить конкурентоспособность выпускаемой продукции при выполнении требований рационального природопользования. Для осуществления такой настройки необходима соответствующая автоматизированная система управления технологическим процессом, разработка которой предполагает постановку и решение комплекса задач с использованием математических моделей и экспериментальных данных, которые отражают закономерности, имеющие место в реальных ситуациях.

Например, содержащиеся в статьях [16], [20], [26] результаты исследования закономерностей распределения сил контактного взаимодействия в массиве сортиментов, подвергаемых очистке в корообдирочном барабане, позволяют сформулировать предположение о том, что увеличение

локальной жесткости корпуса барабана приводит к неблагоприятному перераспределению указанных сил и как следствие – к возрастанию потерь древесины. В то же время анализ литературы показал, что вопросы количественной оценки влияния локальной жесткости корпуса барабана на закономерности распределения сил, появляющихся при соударениях балансов друг с другом и с корпусом барабана, относятся к числу недостаточно изученных.

Преодолеть сложности решения технологических задач данного класса позволяет использование современных численных методов, в частности метода дискретных элементов [1], [28], что показано в статьях [4], [16], [21] на примерах решения модельных задач, в которых требовалось найти нормальные силы контактного взаимодействия при соударениях балансов друг с другом и с корпусом барабана.

В работе [20] рассмотрен вариант методики решения задач того же класса, в котором приняты во внимание не только нормальные, но и касательные силы контактного взаимодействия сортиментов.

В статье [4] приведена содержательная интерпретация результатов математического моделирования с учетом практических потребностей совершенствования технологического процесса очистки древесины в корообдирочном барабане, учтены скорость изменения и величина силы соударений, выявлены причины увеличения потерь древесины при окорке и обоснованы предположения по их устранению. При этом оценка достоверности результатов моделирования, полученных с применением метода дискретных элементов, выполнена с использованием отчетов об испытаниях реальных корообдирочных барабанов.

Однако в указанных работах не исследовано влияние локальной жесткости корпуса барабана на величину сил контактного взаимодействия и на долю потерь древесины при окорке с вовлечением в анализ количественных оценок.

Целью данной работы является анализ влияния локальной жесткости корпуса барабана на распределение сил контактного взаимодействия при соударениях сортиментов друг с другом и с корпусом барабана, получение соответствующих количественных оценок, а также использование закономерностей, выявленных в ходе анализа, для обоснования новых возможностей совершенствования технологического процесса с получением эффекта, выражающегося в уменьшении потерь при окорке древесины. Для решения появляющихся в этой связи задач использована методика математического моделирования [8], варианты и примеры применения которой представлены в упомянутых выше статьях [4], [19], [26].

При определении цели данной работы принято во внимание, что в настоящее время большую практическую значимость приобретают

решения технологических задач, связанных с совершенствованием сухой окорки древесины и окорки балансов длиной 6 м и более. Решение первой задачи позволит повысить экологическую безопасность процесса производства щепы за счет снижения потребления воды и повышения эффективности процесса утилизации отходов окорки. Решение второй задачи позволяет сократить объем отходов при производстве щепы от 1,5 до 5 % за счет исключения потерь при раскросе лесоматериалов на короткие (менее 2 м) балансы.

МЕТОДИКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ И СОУДАРЕНИЙ СОРТИМЕНТОВ

Вследствие того что рассматривается очистка длинномерных сортиментов, при построении математической модели их движения и соударений необходимо учитывать следующее. Поскольку длина сортиментов превышает диаметр барабана, то перемещения сортиментов в процессе их очистки ограничены, и при определенных условиях продольные оси сортиментов в процессе их очистки могут оставаться параллельными. В этом случае движение сортиментов на некотором отрезке времени может рассматриваться как плоскопараллельное, что позволяет существенно упростить математическую модель. Дальнейшие упрощения позволяют перейти к одномерной модели [20]. Обоснования данной модели иллюстрируются, в частности, схемой на рис. 1. Распределенные по площади каждого пятна контакта нормальные и касательные составляющие сил взаимодействия сортиментов заменяются эквивалентными сосредоточенными силами, определение которых сводится к решению полной системы уравнений с применением методов механики деформируемого твердого тела [8].

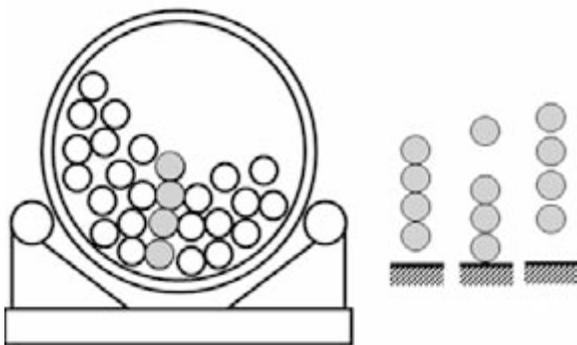


Рис. 1. Модель массива сортиментов и исследуемой его части в трех различных технологических ситуациях

В данной работе условно предполагается, что вертикальным перемещениям деформируемых балансов в одномерном массиве препятствуют

только балансы этого же массива, а соседние – слева и справа по рис. 1 – не оказывают сопротивления движению. В этом случае результатом моделирования, очевидно, будут несколько завышенные оценки силы соударений. Формально это означает, что для сил соударений будут получены оценки сверху. Практическое значение таких количественных оценок выражается, в частности, в обеспечении возможностей прогнозирования разрушения материала не только коры, но и остальной части бревен, что может быть использовано при совершенствовании конструкции коробдирочных барабанов, а также при обосновании степени заполнения барабана и других характеристик рассматриваемого технологического процесса окорки древесины.

Локальная жесткость корпуса барабана в рассматриваемой модельной задаче принята равной жесткости условной пружины $s_0 = k \cdot s$, где s – коэффициент жесткости бревна при соударении (рис. 2). Коэффициент s принят одинаковым для всех бревен. Этот коэффициент может быть определен по результатам испытаний фрагментов реальных сортиментов. Приближенные значения s могут быть определены по представленным в литературе данным. Очевидно, выполнив расчеты по представленной выше методике, можно выявить закономерности изменения силы соударений сортиментов и других характеристик в зависимости от параметра k локальной жесткости корпуса барабана.

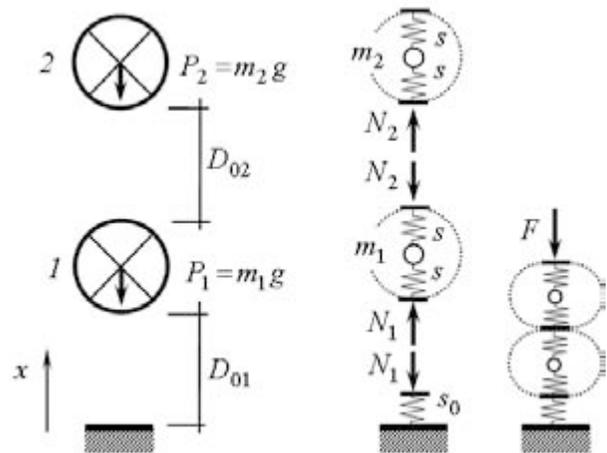


Рис. 2. Одномерная модель упругих элементов, деформирующихся без взаимопроникновения.

P_1 , F – внешние силы, N_k – контактные реакции, D_{0i} – начальные зазоры, s , s_0 – жесткость условных пружин, Н/м

При численном моделировании контактного взаимодействия по указанной выше методике

использован вариант метода дискретных элементов [8], в котором исключено взаимопроникновение деформируемых тел при их соударениях, что достигается применением метода конечных элементов, метода конечных разностей и соответствующей интерпретацией линейной задачи дополнителности [20]. Заметим, что в известных подходах условие отсутствия взаимопроникновения дискретных элементов выполняется приближенно, поскольку сами элементы рассматриваются как абсолютно твердые тела, а процессы деформирования материала элементов считаются локализованными только на их границах в слое относительно малой толщины [1], [28].

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В качестве иллюстрации исследуемых в данной работе закономерностей распределения сил соударения в массиве сортиментов по рис. 2 рассмотрим графики (рис. 3–8), пояснения к которым приведены в дальнейшем изложении материала. Расчеты выполнены при следующих исходных данных: $m_i = 100$ кг, $i = 1, 2, \dots, 5$. Рассматривается случай, когда на старте вычислений при $t = 0$ зазоры $D_{01} \dots D_{04}$ равны нулю, а $D_{05} = 1$ м. В процессе динамического взаимодействия эти зазоры изменяются, закрытие зазоров при соударениях сопровождается появлением сил контактного взаимодействия.

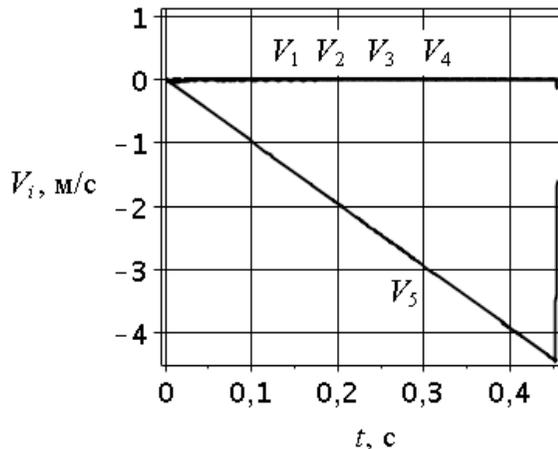


Рис. 3. Изменение скорости V_i в зависимости от времени t

Таким образом, моделируется ситуация, когда верхнее бревно после свободного падения соударяется с четырьмя остальными бревнами. Коэффициент жесткости s , определяющий податливость контактирующих тел, принят равным 20000 кН/м. Коэффициент пропорциональности, определяющий рассеяние энергии в материале сортиментов, принят равным 10000 кг/с, как и в работах [20], [26]. Рассеяние энергии учиты-

вается только при их соударениях. В бесконтактной фазе движение сортиментов рассматривается как свободное от сил сопротивления. Такое движение имеет место для верхнего балана на отрезке времени от 0,00 до 0,45 с (рис. 3). На этом отрезке времени скорость движения тел V_1, \dots, V_4 в рассматриваемой модельной задаче обусловлена собственными колебаниями, которые с течением времени затухают. Далее рассматривается взаимодействие тел только на отрезке времени от 0,45 до 0,50 с (рис. 4–8).

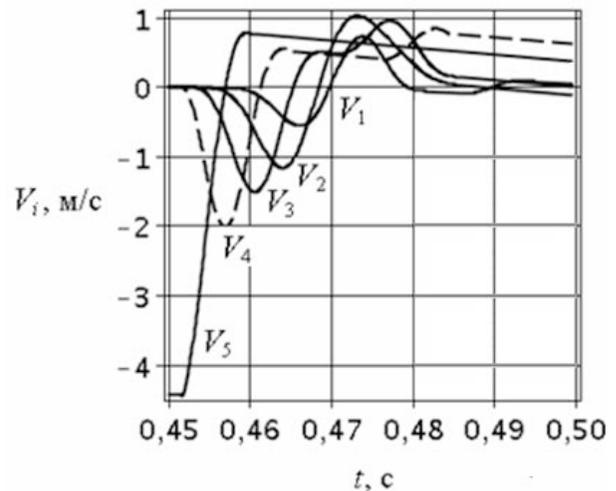
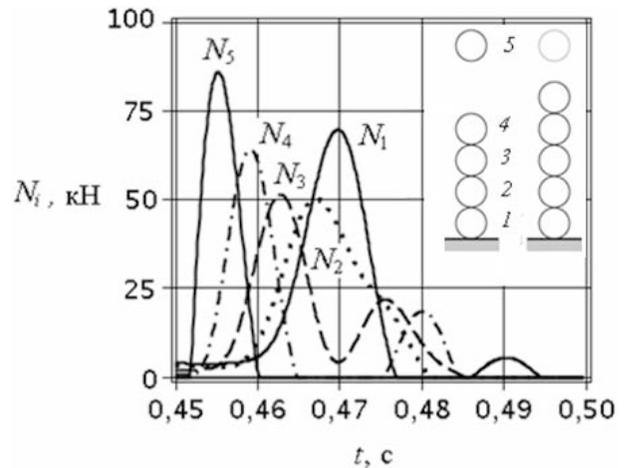


Рис. 4. Изменение сил контактного взаимодействия N_i и скорости V_i в зависимости от времени t при $s_0 = 100$ с.

$$N_{5\max} = 87 \text{ кН}, N_{1\max} = 70 \text{ кН}$$

Вычисления выполнены при шаге по времени, равном 0,0001 с, что при характерной продолжительности соударения, примерно равной 0,01 с (рис. 4), обеспечивает достаточно подробное отражение процесса контактного взаимодействия в рассматриваемой задаче.

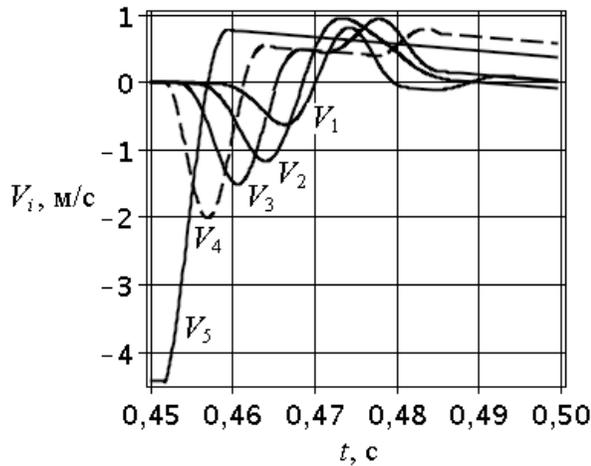
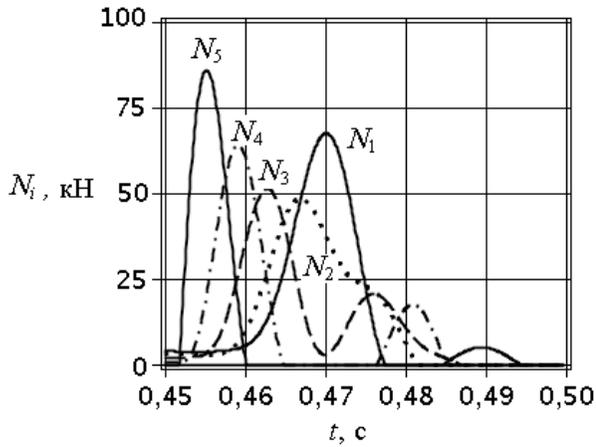


Рис. 5. Характеристики контактного взаимодействия по рис. 4 при $s_0 = 5$ с.

$$N_{5\max} = 87 \text{ кН}, N_{1\max} = 67 \text{ кН}$$

Представленные на рис. 4 зависимости получены для указанного выше параметра локальной жесткости $k = 100$, они почти совпадают с результатами решения модельной задачи, в которой корпус барабана предполагался абсолютно жестким при идентичности прочих исходных данных [4], [20], [26].

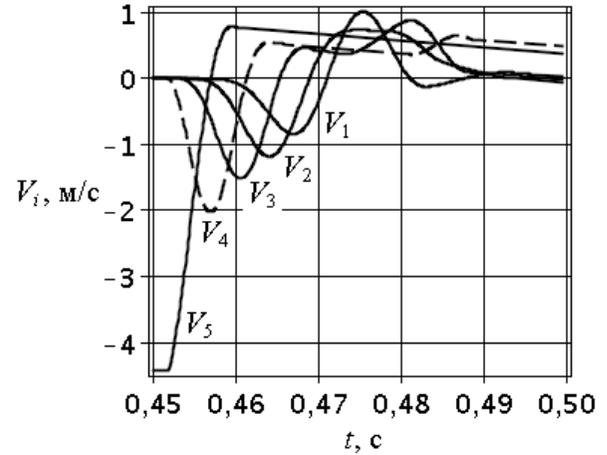
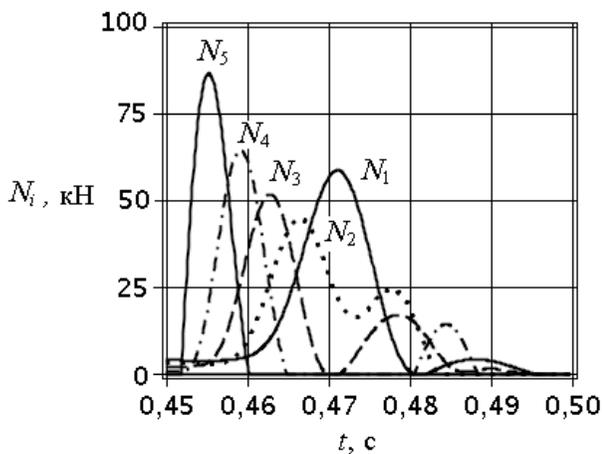


Рис. 6. Те же характеристики (по рис. 4) при $s_0 = s$.

$$N_{5\max} = 87 \text{ кН}, N_{1\max} = 59 \text{ кН}$$

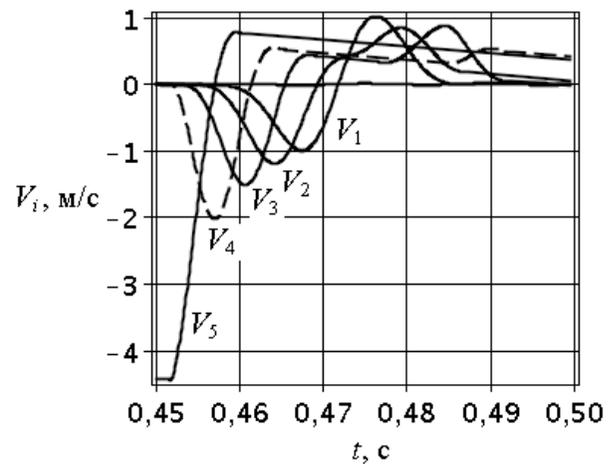
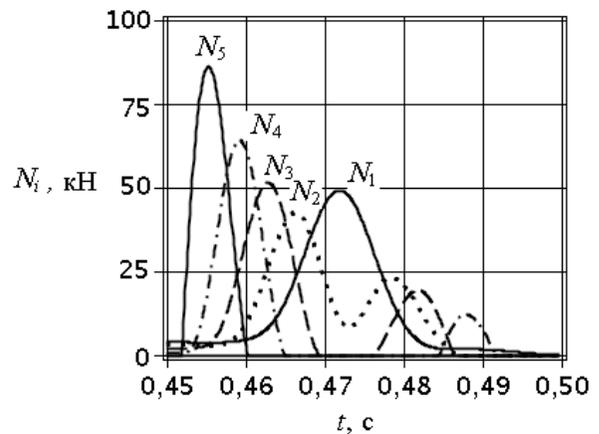


Рис. 7. Характеристики по рис. 4 при $s_0 = 0,5$ с.

$$N_{5\max} = 87 \text{ кН}, N_{1\max} = 49 \text{ кН}$$

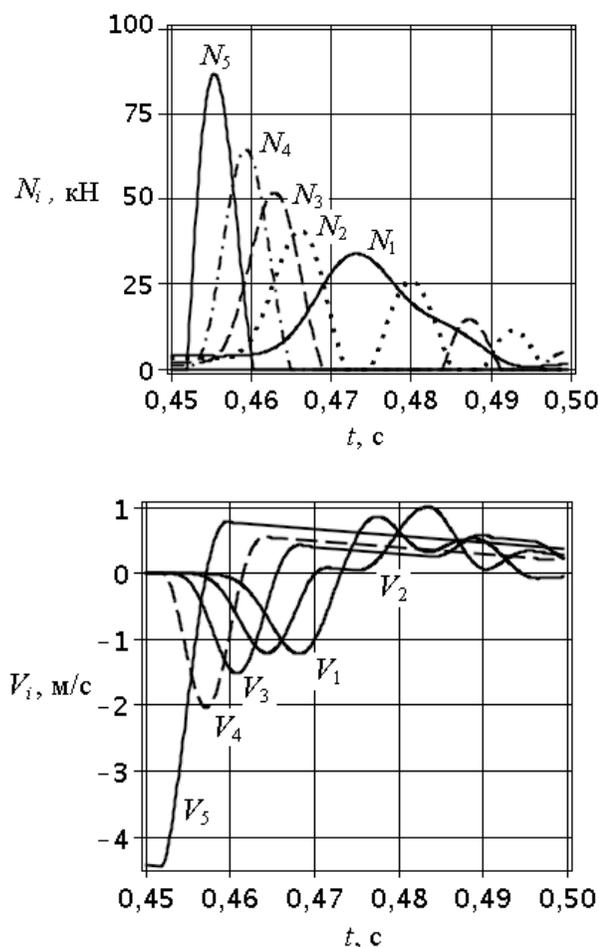


Рис. 8. Характеристики по рис. 4 при $s_0 = 0,2$ с.

$$N_{5\max} = 87 \text{ кН}, N_{1\max} = 34 \text{ кН}$$

Представленные на рис. 4–8 результаты численного моделирования позволяют сделать следующие выводы.

1. Увеличение указанного выше параметра к локальной жесткости корпуса барабана от 1 до 100 мало влияет на изменение величины и скорости сил контактного взаимодействия.

2. Уменьшение параметра k от 1 до 0,2 влияет на изменение величины и продолжительности действия контактных сил в существенно большей степени. Однако в этом случае скорость движения сортиментов изменяется незначительно.

3. Изменение локальной жесткости не влияет на характеристики воздействия для верхнего слоя бревен.

4. Увеличение локальной жесткости корпуса барабана приводит к значительному возрастанию динамического воздействия на нижний слой бревен, что влечет за собой наблюдавшееся при испытаниях увеличение потерь. Аналогичный вывод был сделан в работах [4], [20].

5. Представляется целесообразным выполнение аналогичных расчетов при проектирова-

нии реальных корообдирочных барабанов с учетом конкретных исходных данных в целях совершенствования технологического процесса очистки древесины. В частности, необходимо учитывать влияние влажности не только на прочность соединения коры с древесиной, но и на жесткость древесины, а значит, и на характеристики динамического взаимодействия сортиментов в барабане, что может быть использовано в целях совершенствования рассматриваемого технологического процесса.

Для оценки достоверности результатов численного моделирования воспользуемся данными, полученными при испытаниях реальных корообдирочных барабанов [4]. В этих барабанах изменение локальной жесткости корпуса имело место по причине их оснащения механическими интенсификаторами. Заметим, что к уменьшению локальной жесткости корпуса барабана приводит перфорация внутренней его оболочки или другие особенности проектного решения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ КОРООБДИРОЧНЫХ БАРАБАНОВ С МЕХАНИЧЕСКИМИ ИНТЕНСИФИКАТОРАМИ

Проблема интенсификации процесса групповой окорки возникла с созданием линий периодического действия, предназначенных для производства щепы непосредственно в леспромхозах. Использование воды в качестве интенсификатора процесса окорки в этих условиях практически невозможно, а использование пара сопряжено с большими техническими и экономическими затратами. По этой причине было решено оснастить корообдирочные барабаны, входящие в комплекс подготовки щепы, механическими интенсификаторами. Интенсификаторы выполнены в виде расположенных на внутренней поверхности барабана окорочных элементов – пирамид с пилообразными гранями-ножами. Для интенсификации процесса очистки древесины от коры на внутренней поверхности барабана устанавливались также H-образные ножи.

Испытания проводились в производственных условиях цеха технологической щепы Междуреченского леспромхоза в марте 1990 года. На начало испытаний установка отработала 532 часа, при этом было произведено 3000 м^3 щепы. В период испытаний на переработку в корообдирочный барабан подавалась древесина хвойных (ель, сосна) и лиственных пород (береза). Древесина была срублена непосредственно перед подачей в барабан, то есть подавалась прямо с делянки, при этом складированию не подвергалась. Длина подававшихся в барабан сортиментов составляла 1,2–1,8 м.

Производительность установки при переработке свежесрубленной хвойной древесины среднего диаметра 13 см составила $12,6 \text{ м}^3/\text{ч}$ в плотной мере при достижении степени окорки 95–98 %. Температура окружающего воздуха

при этом составляла $-4...-1$ °С. Производительность установки при переработке свежесрубленной древесины березы среднего диаметра 15,8 см составила $12,6 \text{ м}^3/\text{ч}$ в плотной мере при достижении степени окорки 90–95 %. Температура окружающего воздуха при этом составляла $-6...-1$ °С. Качество вырабатываемой на установке щепы соответствовало требованиям, предъявляемым к щепе марки Ц2 [5]. Выход технологической щепы от объема загружаемого сырья составил: для хвойных пород – 70 %, для березы – 67 %.

Наличие расположенных на внутренней поверхности барабана окорочных элементов в виде пирамид с пилообразными гранями-ножами и Н-образных ножей позволило увеличить степень окорки и поднять производительность барабана на 30–50 %, особенно в условиях отрицательных температур, но при этом увеличилось количество отходов (в виде лома балансов). При переработке березовых балансов доля отходов достигала 6,3 % от общего объема переработанного сырья, при переработке хвойных балансов потери составляли 5,9 %.

Определенную ценность для обоснования конструкции корообдирочных барабанов представляют также результаты испытаний, выполненных в мае 1984 года в производственных условиях ПО «Сыктывкарский ЛПК». Были проведены испытания корообдирочного барабана сухой окорки КБС-425. Средняя производительность барабана за время испытаний составила $115 \text{ м}^3/\text{ч}$. Во время испытаний в барабан подавались осиновые балансы 4-го сорта по ГОСТ 9462-71 с примесью 5–10 % березовых. Максимальная производительность барабана за время испытаний составила $183 \text{ м}^3/\text{ч}$ при степени окорки 97,6 %. Минимальная производительность барабана составила $80 \text{ м}^3/\text{ч}$ при степени окорки 99,8 %. Минимальные потери древесины (4,5 %) имели место при максимальном заполнении барабана (производительность – $183 \text{ м}^3/\text{ч}$) и непрерывном режиме работы. Максимальные потери древесины (7,1 %) зафиксированы при низкой степени заполнения барабана (производительность – $83 \text{ м}^3/\text{ч}$) и «полупериодическом» режиме работы. Средняя степень окорки древесины за период испытаний составила: для осины – 98,6 %; для березы, окориваемой в смеси с осинкой (10 % березы, 90 % осины), – 22,5 %.

По результатам испытаний были сделаны выводы, в частности, о том, что полученные при

испытаниях повышенные значения потерь древесины могут быть следствием низкого качества древесины, низкой степени заполнения барабана, а также установки внутри секций барабана дополнительных окорочных элементов (интенсификаторов). Лом в основном состоит из кусков расщепленной или раздавленной древесины, при этом не менее 10 % от общего объема лома составляют сколы от толстомерной здоровой древесины.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты как производственных испытаний, так и математического моделирования указывают на необходимость разработки таких конструкций корообдирочных барабанов, которые обеспечивали бы требуемую интенсивность динамического воздействия на балансы при их соударениях с элементами корпуса барабана.

Одним из основных конструктивных параметров, оказывающих влияние на указанную интенсивность, является локальная и общая жесткость взаимодействующих объектов. В частности, жесткость объектов рассмотренной в статье системы зависит от диаметра барабана, толщины стенок обечайки, наличия перфорации, количества и расположения окорочных балок, бандажей, зубчатых венцов, интенсифицирующих элементов, а также от физико-механических свойств окориваемой древесины и многих других факторов. Использование элементов, увеличивающих локальную жесткость корпуса барабана, как было показано в статье, может приводить к росту потерь древесины. К такому же эффекту приводит снижение степени заполнения барабана [4], [20].

С учетом представленных выше результатов, а также материалов ранее выполненных работ [3], [4], [16], [20], [26], разработанная методика математического моделирования динамического взаимодействия балансов, подвергаемых окорке в барабане, может быть рекомендована для использования при вариантном проектировании барабанов. Эта же методика позволяет прогнозировать эффективность работы оборудования при различных условиях эксплуатации и корректировать технологические параметры барабана.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 08-08-00979.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балявичюс Р., Джюгис А., Качянаускас Р. Метод дискретных элементов и его применение при анализе пенетрации в зернистую среду (англ.) // Journal of Civil Engineering and Management. Вильнюс: Техника, 2004. Т. 10. № 1. С. 3–14. <http://www.jcem.vgtu.lt/en/>.
2. Бойков С. П. Теория процессов очистки древесины от коры. Л.: ЛГУ, 1980. 152 с.
3. Васильев А. С., Никонова Ю. В., Раковская М. И. Математическое моделирование технологического процесса очистки древесины в корообдирочном барабане // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия «Естественные и технические науки». 2008. № 1. С. 117–119.

4. Васильев С. Б., Колесников Г. Н., Никонова Ю. В., Раковская М. И. Исследование закономерностей изменения силы соударений с целью снижения потерь при окорке древесины в барабане // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 185. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2008. С. 258–264.
5. ГОСТ 15815–83. Щепя технологическая. Технические условия. Введение. 24.08.83. М.: Изд-во стандартов, 1984. 11 с.
6. Добрачев А. А. Технология и оборудование окорки лесоматериалов. Екатеринбург, 2001. 121 с.
7. Житков А. В. Мазарский С. М. Хранение и подготовка древесного сырья в ЦБП. М.: Лесная промышленность, 1980. 224 с.
8. Колесников Г. Н., Раковская М. И. Об одном варианте метода дискретных элементов // Материалы XV Международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС-2007). Алушта, 25–31 мая 2007 г. М.: Вузовская книга, 2007. С. 284–285.
9. Кочанов В. В. Учет потерь и отходов при производстве технологической щепы // ЛесПромИнформ. 2004. № 5 (18). С. 74–77. http://www.lesprom.spb.ru/archiv/LPI_18.pdf.
10. Крылов Г. А. Исследование процесса барабанной окорки древесины: Дис. ... канд. техн. наук. Химки, 1971. 160 с.
11. Леонтьев Н. Л. Упругие деформации древесины. Л.: Гослесбумиздат, 1952. 120 с.
12. Локштанов Б. М. Исследование процесса окорки березовой древесины в барабанах: Дис. ... канд. техн. наук. Л., 1972. 188 с.
13. Локштанов Б. М., Житников А. В., Трефилова Т. Ф. Сухая окорка древесины в барабанах на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности. М.: ВНИПИЭИлеспром, 1976. 53 с.
14. Матюнин В. Я. Исследование процесса подготовки короткомерной низкокачественной древесины в корообдирочных барабанах для получения технологической щепы: Дис. ... канд. техн. наук. Химки, 1972. 164 с.
15. Матюнин В. Я., Коперин Ф. И. Некоторые вопросы теории окорки древесины в корообдирочных барабанах // Известия ВУЗов. Лесной журнал. 1972. № 2. С. 64–69.
16. Никонова Ю. В. О численном моделировании технологического процесса очистки древесины в корообдирочном барабане // Современные проблемы информатизации в проектировании и информационных системах: Сб. трудов / Под ред. д. т. н., проф. О. Я. Кравца. Вып. 13. Воронеж: Научная книга, 2008. С. 423–426.
17. Оборудование целлюлозно-бумажного производства: В 2 т. Оборудование для производства волокнистых полуфабрикатов / В. А. Чичаев, А. А. Васильев, И. А. Васильев и др. М.: Лесная промышленность, 1981. Т. 1. 368 с.
18. Оскерко В. Е. Новый принцип окорки лесоматериалов // Строительные и дорожные машины. 2007. № 3. С. 13–16.
19. Пигильдин Н. Ф. Окорка лесоматериалов (теория, технология, оборудование). М.: Лесная промышленность, 1982. 192 с.
20. Раковская М. И., Никонова Ю. В. Численное моделирование и определение сил контактного взаимодействия длиномерных сортиментов в корообдирочном барабане // Системы управления и информационные технологии. № 1.3 (31). Воронеж: Научная книга, 2008. С. 397–401.
21. Раковская М. И., Никонова Ю. В., Васильев А. С. Об алгоритме метода дискретных элементов применительно к исследованию технологического процесса очистки древесины в окорочном барабане // Информационные технологии моделирования и управления. Воронеж: Научная книга, 2008. № 1(44). С. 119–124.
22. Самарский А. А., Михайлов А. П. Математическое моделирование. Идеи, методы, примеры. 2-е изд., испр. М.: Физматлит, 2005. 320 с.
23. Технический каталог АО «Петрозаводскмаш»: Оборудование для целлюлозно-бумажного производства: Кн. 2: Оборудование бумагоделательное. Петрозаводск, 1994. 138 с.
24. Технология целлюлозно-бумажного производства. Справочные материалы: В 3 т. СПб.: Изд-во ЛТА, 2002. Т. 1 Ч. 1. 425 с.
25. Туулас П. А. Повышение производительности окорочных барабанов путем оптимизации их основных параметров и размеров: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Л., 1987. 16 с.
26. Шегельман И. Р., Васильев А. С., Колесников Г. Н., Никонова Ю. В. Моделирование технологического процесса очистки древесины в корообдирочном барабане с применением метода дискретных элементов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 184. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2008. С. 258–264.
27. Varoth R. Literature review of latest development of wood debarking // University of Oulu, Control Engineering Laboratory. Report A № 27, 2005. 29 p.
28. Cundall P. A., Strack O. D. L. A discrete numerical model for granular assemblies // Geotechnique. 1979. Vol. 29(1). P. 47–65.

УДК 630.377.44.004.67

ЕВГЕНИЙ НИКОЛАЕВИЧ ВЛАСОВ

кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования специальных лесных машин лесомеханического факультета Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии
vlasov-en@mail.ru

НИКОЛАЙ ЮРЬЕВИЧ ИВАНОВ

доцент кафедры технологии лесного машиностроения и ремонта лесомеханического факультета Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии
vlasov-en@mail.ru

АНРИ ЯКОВЛЕВИЧ ПЕРЕЛЬМАН

доктор физико-математических наук, профессор кафедры высшей математики лесоинженерного факультета Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии
anri_perelman@mail.ru

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ГАЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАПЛАВКИ
ДЕТАЛЕЙ ЛЕСНЫХ МАШИН В СРЕДЕ ПРОПАН-БУТАНА**

На ремонтных предприятиях лесной промышленности и лесного хозяйства можно считать целесообразным внедрение таких способов восстановления, как газозлектрическая наплавка в пропан-бутане, которая устраняет недостатки широко распространенных способов, может быть внедрена на имеющемся оборудовании с незначительными изменениями и не требует дорогостоящих расходных материалов. Экономический анализ показал экономическую эффективность внедрения наплавки в пропан-бутане на ремонтных предприятиях лесной промышленности.

Ключевые слова: ремонт, газозлектрическая наплавка, пропан-бутан, планирование эксперимента

На ремонтных предприятиях лесной промышленности и лесного хозяйства при восстановлении деталей наибольшее распространение нашли дуговые способы наплавки: ручная наплавка покрытыми электродами, наплавка под слоем флюса, наплавка в среде углекислого газа и вибродуговая наплавка. Эти способы восстановления не всегда позволяют получить необходимую твердость поверхности, и детали требуется дополнительная термическая обработка, которая обычно возможна на крупных ремонтных заводах.

Внедрение на малых предприятиях дорогостоящих и энергоемких установок, например, таких как плазменная наплавка, нанесение твердых покрытий в высоком вакууме или детонационного напыления, требует больших капитальных вложений, что целесообразно только при больших программах или номенклатурах ремонтируемых деталей. Новые способы восстановления требуют также и более высокой культуры производства. Здесь целесообразны способы

восстановления деталей, которые устраняют недостатки широко распространенных способов, могут быть внедрены на имеющемся оборудовании с незначительными изменениями и не требуют дорогостоящих расходных материалов [4].

Целью данной работы является выбор оптимального режима нанесения покрытия газозлектрической наплавкой в пропан-бутане для повышения эксплуатационных свойств деталей при ремонте лесных машин. В работе определяются условия протекания процесса, при которых ее технологическая производительность оптимальна. В этом смысле выявляется также взаимосвязь качественного формирования шва с технологическими параметрами [2].

В качестве управляемых факторов (контролируемых переменных) используются только взаимно независимые параметры наплавки: x_1 – мощность электрической дуги, x_2 – скорость наплавки, x_3 – расход пропан-бутана, x_4 – расход кислорода, x_5 – расстояние до среза газовой горелки.

Поставленная проблема оптимизации решается на основе методов планирования эксперимента.

В полном факторном эксперименте (ПФЭ) типа 2^k число опытов $N = 2^k$. С ростом k число опытов N быстро растет. Поэтому при больших значениях k реализация ПФЭ типа 2^k становится сложно осуществимой. Одномерная функция отклика имеет вид [1], [7].

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i x_i + \sum a_{ii} x_i^2 + \sum_{1 \leq i < j \leq k} a_{ij} x_i x_j + y_*, \quad (1)$$

где y – количество нанесенного металла в единицу времени [г/ч], и член y_* содержит произведения контролируемых переменных x_1, \dots, x_k порядка выше второго. Взаимодействия называются произведениями вида:

$$x_{i_1} \dots x_{i_m} \quad (1 \leq i_1 < i_2 < \dots < i_m \leq k). \quad (2)$$

Наряду с ростом числа N опытов происходит увеличение числа взаимодействий и их порядка. В ряде случаев можно априори пренебречь эффектами определенного набора взаимодействий. Кроме того, за счет коррекции матрицы независимых переменных функции отклика часто можно заменить функцией отклика, эквивалентной исходной, но с меньшим количеством взаимодействий. При этом функции отклика считаются эквивалентными, если результаты оптимизации для них практически одинаковы. Отметим, что некоторые взаимодействия принципиально значимы, и их необходимо учитывать для любой допустимой функции отклика. Эти соображения лежат в основе предложенного метода оптимизации производительности нанесения покрытия на изношенные детали.

Любое уменьшение до реально учитываемых взаимодействий приводит к существенному уменьшению числа опытов, необходимых для получения оценок неизвестных коэффициентов (параметров) функции отклика. Это уменьшение достигается с помощью применения дробных факторных планов (ПФЭ), представляющих собой регулярные или нерегулярные дробные реплики. Если в ПФЭ типа 2^k наблюдения проводятся во всех вершинах k -мерного гиперкуба, то при использовании дробных реплик нужно знать результаты экспериментов только в некоторых вершинах этого гиперкуба. При построении полуреплик берутся не произвольные точки полного факторного плана, а только такие, при использовании которых выполняются условия симметрии и нормировки плана и попарной ортогональности его столбцов. Каждому ПФЭ типа 2^k соответствуют две полуреплики 2^{k-1} . Например, в случае $k = 4$ полуреплики могут строиться с помощью генерирующих соотношений [1]:

$$x_4 = x_1 x_2 \quad (3)$$

и

$$x_4 = -x_1 x_2. \quad (4)$$

Матрица плана полуреплики 2^{4-1} с генерирующим соотношением (3) имеет вид:

$$\begin{matrix} & x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} & & & & \end{matrix} \quad (5)$$

Матрицы планов двух произвольных полуреплик 2^{4-1} , генерирующие соотношения, отличающиеся лишь знаками, не имеют общих строк. Значит, объединение таких полуреплик представляет собой ПФЭ типа 2^4 . Для каждого из двух ПФЭ 2^3 находятся несмещенные оценки по методу наименьших квадратов (МНК-оценки) неизвестных коэффициентов (параметров) функции отклика:

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^3 a_i x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq 3} a_{ij} x_i x_j + a_{123} x_1 x_2 x_3. \quad (6)$$

Коэффициентам соответствует матрица независимых переменных:

$$X = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Матрица плана ПФЭ типа 2^3

Основная задача планирования эксперимента состоит в поиске экстремума функции отклика. Рассмотрим случай, когда экстремум, соответствующий оптимизации производительности покрытия на изношенные детали, лежит во внутренней точке области изменения независимых переменных. В этом случае можно пользоваться классическим методом отыскания экстремума функции нескольких переменных:

1. Необходимое условие: независимые переменные должны удовлетворять системе нормальных уравнений МНК.
2. Достаточное условие: независимые переменные должны удовлетворять теореме Сильвестра [5] (в случае максимума знаки угловых миноров A_k должны чередоваться, причем $A_1 < 0$).

Такая задача имеет смысл, если функция отклика относительно независимых переменных имеет порядок выше первого.

Для изучаемой проблемы, согласно критерию Стьюдента [3], значимы переменные x_1, x_2, x_3, x_5 (ниже переменная x_5 переобозначается через x_4). В свою очередь, в силу критерия Фишера адекватная модель функции отклика записывается в форме:

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_{11}x_1^2 + a_{12}x_1x_2 + a_{22}x_2^2 + a_{33}x_3^2 + a_{44}x_4^2. \quad (8)$$

Данная модель строится по генерирующему соотношению (3) и является минимальной моделью типа (1). Это означает, что функция отклика (8) содержит только одно взаимодействие x_1x_2 , совпадающее с генерирующим соотношением. Определим вектор коэффициентов регрессии (параметров) по МНК на основе выбранного плана ДФЭ [1], [7].

$$\vec{a} = (a_0, a_1, \dots, a_4, a_{11}, \dots, a_{44}), \quad (9)$$

где:

$$\begin{aligned} a_0 &= -49, \\ a_1 &= 3.5 \cdot 10^{-6}, a_{11} = -1.4 \cdot 10^{-10}, a_{12} = 6.0 \cdot 10^{-5} \\ a_2 &= -1.6 \cdot 10^{-5}, a_{22} = -1.8, \\ a_3 &= 50, a_{33} = -0.5, \\ a_4 &= 30, a_{44} = -0.2, \end{aligned} \quad (10)$$

Нормальная система МНК, соответствующая функции отклика (8), имеет вид:

$$\begin{cases} a_1 + 2a_{11}x_1 + a_{12}x_2 = 0 \\ a_2 + 2a_{22}x_2 + a_{12}x_1 = 0 \\ a_3 + 2a_{33}x_3 = 0 \\ a_4 + 2a_{44}x_4 = 0. \end{cases} \quad (11)$$

Вектору параметров \vec{a} из (9), (10) соответствует вектор независимых переменных:

$$\vec{x} = (x_1, x_2, x_3, x_4). \quad (12)$$

где $x_1 = -49 \cdot 10^5, x_2 = -84, x_3 = 50, x_4 = 75$.

Проверим, что вектор \vec{x} действительно доставляет максимум функции отклика (8) с параметрами (10), то есть оптимизация фактически осуществляется. Действительно, критерий Сильвестра выполняется в силу соотношений:

$$\begin{aligned} A_1 &= Y_{11} = 2a_{11} = -2,8 \cdot 10^{-10} < 0, \\ A_2 &= \begin{vmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{vmatrix} = 10^{-10} \cdot (2,8 \cdot 3,6 - 9) \approx 10^{-10} > 0, \\ A_3 &= \begin{vmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{vmatrix} = -A_2 < 0, \\ A_4 &= \begin{vmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} \end{vmatrix} = -Y_{44} \cdot 10^{-10} > 0, \text{ если } Y_{44} < 0, \end{aligned}$$

(в данном случае $Y_{44} = -0,4$, так как $a_{44} = -0,2$), где

$$Y_{ij} = 2a_{ij}, Y_{ij} = Y_{ji} = 0,5a_{ij}. \quad (13)$$

Вычислим фактическое значение максимума функции отклика:

$$Y_{\max} = V(\vec{x}), \quad (14)$$

где вектор независимых переменных \vec{x} дается формулой (12).

Имеем:

$$Y_{\max} = Y_0 + Y_1 + Y_2 + Y_{12}, \quad (15)$$

где

$$\begin{cases} Y_0 = a_0 + 0,5a_3^2 + 1,2a_4^2 \approx 2,3 \cdot 10^3, \\ Y_1 = \sum_{i=1}^4 a_i x_i \approx -1,7 \cdot 10^4 + 4,8 \cdot 10^3, \\ Y_2 = \sum_{i=1}^4 a_{ii} x_i^2 \approx -0,8 \cdot 10^4 - 1,5 \cdot 10^3, \\ Y_{12} = a_{12} x_1 x_2 \approx 2,5 \cdot 10^4. \end{cases} \quad (16)$$

Из выражений (15) и (16) следует:

$$\begin{aligned} Y_{\max} &= 2,3 \cdot 10^3 + 3,3 \cdot 10^3 = \\ &= 5,6 \cdot 10^3 = 5600 \text{ г/ч}. \end{aligned} \quad (17)$$

Экстремумы во внутренней точке области изменения независимых переменных функции отклика второго порядка существуют не для всех возможных значений коэффициентов регрессии.

Так, для минимальной модели (8) при $a_{11} = -1,4 \cdot 10^{-10}$, $a_{12} = 6,0 \cdot 10^{-5}$ должны выполняться неравенства:

$$a_{22} < -1,7; a_{33} < 0,9; a_{44} < 0. \quad (18)$$

Следует отметить, что рассматриваемая проблема является плохо обусловленной, поскольку малые погрешности коэффициентов регрессии могут привести к существенным ошибкам в Y_{\max} (некорректная проблема) [6]. Поэтому формально полученное решение проблемы оптимизации нуждается в регуляризации. В данном случае можно использовать естественную регуляризацию, состоящую в отбрасывании слагаемых типа $10^k a$ с $a \ll 1$ для тех натуральных k , которые по смыслу задачи не соответствуют реальным значениям экстремума функции отклика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асатурян В. И. Теория планирования эксперимента. М.: Радио и связь, 1983. 248 с.
2. Балихин В. В., Быков В. В., Иванов Н. Ю. Технология ремонта машин и оборудования: Учебник для вузов. СПб.: СПбГЛТА, 2006. 524 с.
3. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М.: Высшая школа, 1998. 575 с.
4. Иванов Н. Ю. Исследование режимов наплавки в пропан-бутане на форму наплавленного покрытия // Технологии ремонта, восстановления, упрочнения и обновления машин, механизмов, оборудования и металлоконструкций: Материалы 6-й Всероссийской практ. конференции-выставки. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2004. С. 53–61.
5. Ильин В. А., Позняк Э. Г. Линейная алгебра. М.: Наука, 1984. 294 с.
6. Федоров А. М. Некорректные задачи со случайными ошибками в данных. Новосибирск: Наука, 1990. 279 с.
7. Федоров В. В. Теория оптимального эксперимента. М.: Наука, 1984. 312 с.

УДК 533.9.082.5

ЛИДИЯ АНДРЕЕВНА ЛУИЗОВА

кандидат физико-математических наук, доцент, профессор кафедры информационно-измерительных систем и физической электроники физико-технического факультета ПетрГУ
alim@karelia.ru

АНДРЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ ПИСКУНОВ

аспирант кафедры информационно-измерительных систем и физической электроники физико-технического факультета ПетрГУ
piskunov@plasma.karelia.ru

СЕРГЕЙ ФЕДОРОВИЧ ПОДРЯДЧИКОВ

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры информационно-измерительных систем и физической электроники физико-технического факультета ПетрГУ
psf@ptz.ru

АЛЕКСЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ СОЛОВЬЕВ

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры информационно-измерительных систем и физической электроники физико-технического факультета ПетрГУ
avsolov@plasma.karelia.ru

АНАТОЛИЙ ДИАМИДОВИЧ ХАХАЕВ

доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-измерительных систем и физической электроники физико-технического факультета ПетрГУ
alim@karelia.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПЛАЗМЕННО-ПЫЛЕВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ С ПОМОЩЬЮ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СПЕКТРОВ

Для исследования плазменно-пылевых структур предлагается использовать пространственные спектры их изображений, полученные путем быстрого преобразования Фурье. Преимущества метода доказаны модельным экспериментом и на примере анализа изображений пылевых структур в тлеющем разряде постоянного тока в инертных и молекулярных газах. Показано, что метод устойчив к шумам и позволяет выявить скрытую упорядоченность в структуре.

Ключевые слова: парная корреляционная функция, пространственный спектр, пылевая плазма, скрытая упорядоченность, тлеющий разряд, преобразование Фурье

Как показал ход исторического развития знаний о физике низкотемпературной плазмы, к концу XX века на передний край нерешенных проблем в этой области вышли проблемы комплексной плазмы [6]. Она отличается от «классической» существенной гетерогенностью состава, наличием в нем микро- и макрочастиц с различными физико-химическими характеристиками, а также спецификой пространственного распределения этих частиц по объему плазменной среды. В комплексной плазме в определенных условиях отмечены появление фуллеренов, углеродных нанотрубок, а также процессы самоорганизации «пылеобразных» масс, образующихся в результате взаимодействия исходного плазмообразующего газа с окружением или искусственно инжектируемых в него микро- или макрочастиц в локально ограниченные структуры с различной степенью упорядоченности упомянутых частиц в них («плазменные кристаллы»). Такая плазма часто встречается в космосе: в планетных коль-

цах, хвостах комет, межпланетных и межзвездных облаках. Она обнаружена вблизи искусственных спутников Земли и в пристеночной области термоядерных установок с магнитным удержанием, а также в плазменных реакторах, дугах, разрядах. Теоретические расчеты равновесных свойств такой плазмы показывают, что при определенных условиях сильное межчастичное взаимодействие приводит к возникновению упорядоченной структуры в расположении макроскопических частиц, аналогичной структурам в жидкости или твердом теле. Таким образом, теория комплексной плазмы кафедры информационно-измерительных систем и физической электроники – это интенсивно развивающийся раздел фундаментальной физики.

Проверка и уточнение теоретических моделей комплексной плазмы требует информации как о параметрах плазмообразующей среды, так и о характеристиках плазменно-пылевых образований, формирующихся в этой среде: их фор-

ме, объеме, среднем расстоянии между частицами, степени и характере упорядоченности расположения частиц в структуре. Традиционно эта информация извлекается из изображения сечения пылевой структуры, зарегистрированного цифровой видеокамерой или фотоаппаратом при освещении структуры лазерным «ножом», толщина которого должна быть меньше среднего расстояния между частицами.

Информацию об объемном распределении частиц можно получить путем сканирования сечений перемещением ножа с помощью оптической системы и быстрой видеосъемки [6] или применяя методы томографии [1].

Обработка двумерного изображения позволяет оценить форму, объем структуры и среднее значение расстояния между ближайшими частицами. Оценка степени упорядоченности структуры, как правило, делается на основе вида гистограммы расстояний между частицами, аналога бинарной корреляционной функции [4].

Наличие ярко выраженных пиков на гистограмме считается свидетельством высокой упорядоченности структуры. Однако такая упорядоченность видна непосредственно на изображении. Интерес представляет выявление скрытой упорядоченности, которая может возникнуть, например, на стадии «плавления кристалла», когда сосуществуют фазы «жидкость» – «лед» [5], то есть упорядоченные фрагменты хаотически расположены и случайно ориентированы среди массы неупорядоченных частиц.

При этом на гистограмме также появляются локальные максимумы, но эти максимумы могут быть и результатом случайных флуктуаций числа частиц в определенной области изображения при хаотическом расположении частиц. Поэтому имеет смысл рассмотреть альтернативный метод анализа пылевой структуры, построение пространственного спектра изображения.

В кристаллографии информацию о структуре твердого тела часто извлекают из картины дифракции рентгеновских лучей на исследуемом образце. Учитывая характерные расстояния между частицами в структурах (порядка 10^{-2} см), можно ожидать, что, например, линза с фокусным расстоянием около 1 м позволит наблюдать дифракцию Фраунгофера на структуре в видимом свете. Идея использовать дифракцию на структуре в видимом свете была предложена еще в работе [2] и проиллюстрирована экспериментом на модели пылевой структуры. Однако широкого распространения метод не получил из-за очевидных технических трудностей при его применении к реальным плазменно-пылевым структурам. В частности, наблюдению реальной дифракционной картины препятствует ее малая интенсивность и искажающее влияние стенок разрядного объема, в котором существует пылевое облако. Поскольку дифракционная картина Фраунгофера – это квадрат модуля двумерного фурье-образа объекта, на котором происходит

дифракция, соответствующая информация гораздо проще может быть извлечена путем вычисления двумерного фурье-образа изображения структуры. На рис. 1 информативность фурье-образа изображения проиллюстрирована на модельных изображениях в сопоставлении с информативностью гистограмм расстояний.

Использованная программа обработки двумерных изображений [1] определяет число частиц в изображении, максимальное расстояние между частицами R_{\max} и строит гистограмму расстояний между частицами. На графиках, представленных на рис. 1, по оси ординат отложено G – число частиц, оказавшихся в кольце радиуса R толщиной $dR = R_{\max}/M$ (M – число каналов гистограммы), вокруг одной частицы, просуммированное по всем частицам, деленное на площадь этого кольца и нормированное на максимальное значение по всей структуре. При построении пространственных спектров изображений использовалось быстрое дискретное преобразование Фурье. Результаты представляются в виде изображения спектра, в котором значение, пропорциональное модулю фурье-образа, передается градиацией яркости соответствующего элемента изображения (пиксела).

Внешне изображения 3а и 4а кажутся совершенно неупорядоченными, однако пространственный спектр четко выявляет их структуру. Максимумы на рис. 3б выявляют наличие прямоугольных фрагментов, ориентированных по вертикальной и горизонтальной оси. Концентрические кольца на рис. 4б показывают, что упорядоченные элементы с определенной структурой имеют самые различные ориентации в пространстве. Видно, что если спектр выявляет наличие элементов упорядоченности, то по гистограммам ничего сказать нельзя: на них имеются пики и провалы примерно одинаковой высоты и глубины.

На рис. 2 представлены полученные в работе [1] изображения (а) и пространственные спектры (б) пылевых структур из полидисперсных частиц Al_2O_3 и цинка в тлеющем разряде постоянного тока в инертных и молекулярных газах при различных давлениях газа (P) и токах (I).

Из приведенных выше примеров видно, что при анализе реальных изображений пространственный спектр не только четко выявляет наличие «скрытой» упорядоченности, но и может указать на наличие периодичности по определенным направлениям (столбцы 1 и 2 на рис. 2) или указывает на отсутствие определенной ориентации упорядоченных фрагментов (столбец 4 на рис. 2). Этот факт, вообще говоря, требует специального внимания теории, так как в тлеющих разрядах существует явная анизотропия электрических полей, направленных вдоль оси разрядной трубки и по ее радиусу. Сравнение спектров, представленных на рис. 2 в столбцах 2 и 3, показывает, что увеличение разрядного тока ведет к исчезновению всякой упорядоченности в структурах.

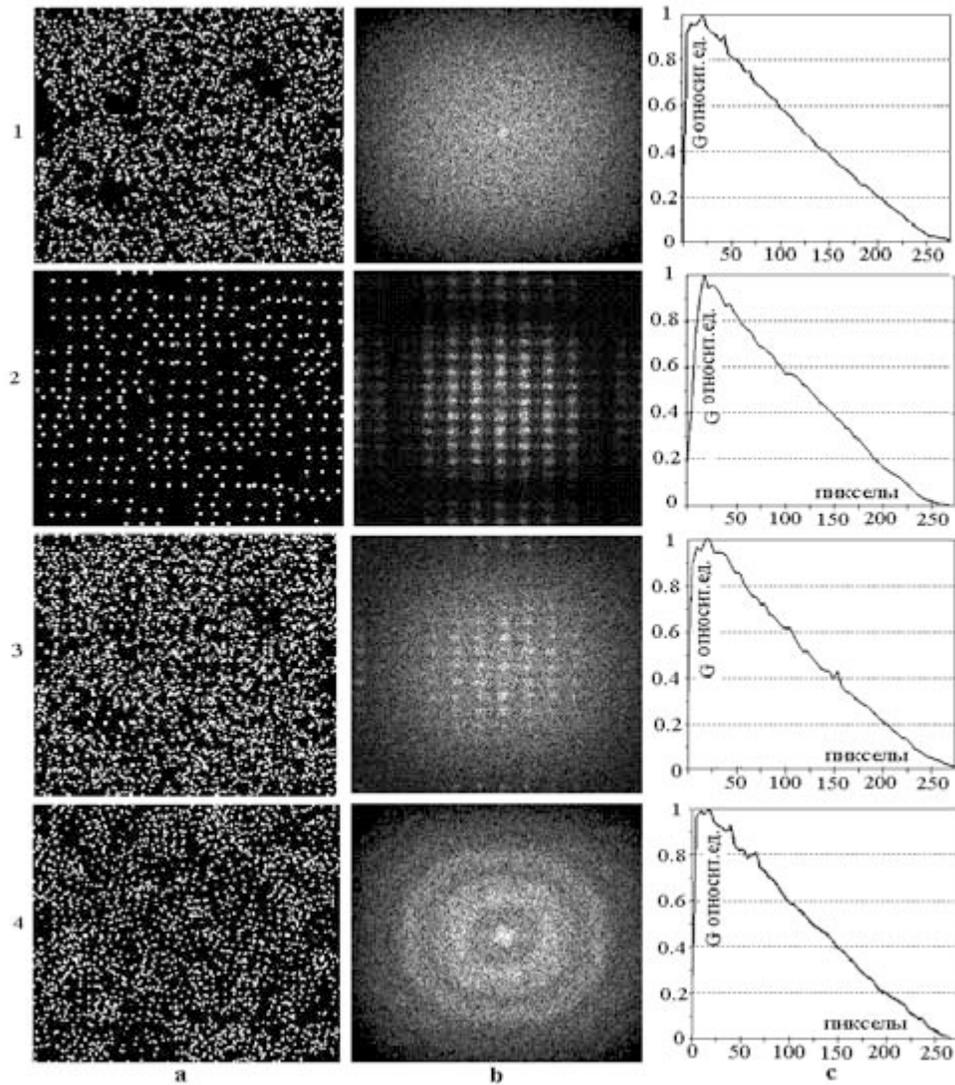


Рис. 1. Смоделированные изображения (а), соответствующие пространственные спектры (б) и гистограммы межчастичных расстояний (с). 1 – Неупорядоченная структура. 2 – Структура, полученная случайными сдвигами по вертикали и горизонтали квадрата, образованного девятью равноотстоящими точками. 3 – Наложение неупорядоченной структуры, представленной в ряду 2. 4 Наложение неупорядоченной структуры и структуры, полученной случайными сдвигами и поворотами квадрата, образованного девятью равноотстоящими точками

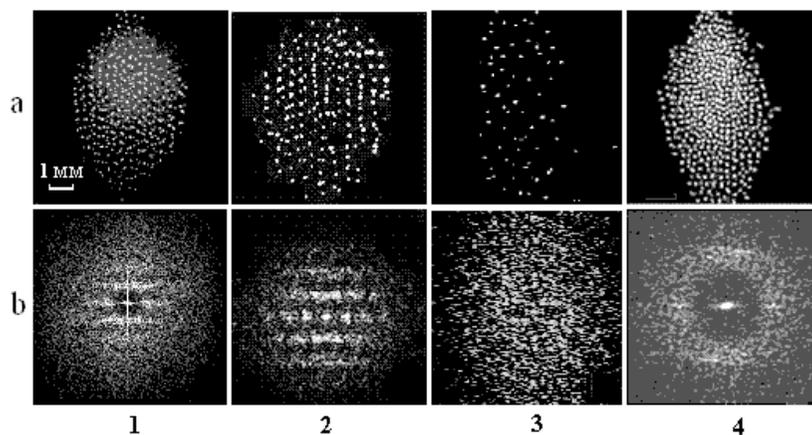


Рис. 2. Изображения структур (а) и пространственные спектры (б). 1 – Полидисперсный порошок цинка (2–6 мкм) в разряде в азоте при $P = 53$ Па, $I = 0.5$ мА. 2 – Полидисперсный порошок Al_2O_3 (1–60 мкм) в разряде в аргоне при $P = 80$ Па, $I = 0.6$ мА. 3 – Al_2O_3 в разряде в аргоне при $P = 80$ Па, $I = 2$ мА. 4 – Al_2O_3 в разряде в неоне при $P = 80$ Па, $I = 0.3$ мА.

На рисунке 3а представлено горизонтальное сечение структуры из частиц LiNbO_3 размером 1 мкм в тлеющем разряде в смеси гелия и неона [3]. Чтобы доказать, что типы упорядочения структуры различны в разных ее частях, авторы работы [3] вычисляют для

этих частей локальную ориентационную функцию. Мы выделили на изображении структуры две части и представили пространственный спектр части 1 на рисунке 3б и части 2 – на рисунке 3с. Разница типов упорядоченности очевидна.

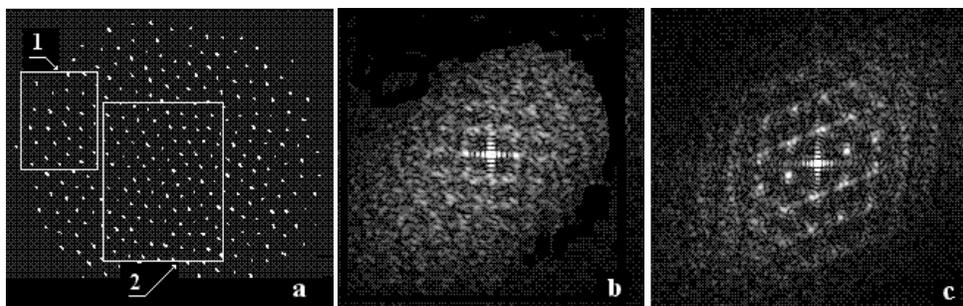


Рис. 3. а – изображение горизонтального сечения структуры из частиц LiNbO_3 из работы [3], б – пространственный спектр части изображения 1, с – пространственный спектр части 2.

Высокая скорость вычисления пространственных спектров изображений с использованием быстрого преобразования Фурье позволяет следить за эволюцией структуры в реальном времени при изменении условий разряда. Кроме того, немаловажным аспектом любого алгоритма является его устойчивость к шумам. Незначительная расфокусировка изображения (пока изображения отдельных частиц не сливаются) не влияет на положение максимумов пространственного спектра; присутствие в ис-

ходном изображении одиночных артефактов или бликов отражается только на величине и форме центрального максимума, который не несет полезной информации. Поэтому метод в принципе не требует предварительной обработки (например, бинаризации) изображений, получаемых фото- или видеокamerой.

Работа выполнена при поддержке гранта RUX0-000013-PZ-06, Министерства образования РФ и Правительства Карелии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бульба А. В., Луизова Л. А., Подрядчиков С. Ф., Хахаев А. Д., Щербина А. И. Самоорганизация и рост пылевых структур в тлеющем разряде // Химия высоких энергий. 2006. Т. 40. № 2. С. 155–160.
2. Ваулина О. С., Петров О. Ф., Таранин М. В. Дифракция оптического излучения и анализ упорядоченных структур макрочастиц в неидеальной термической плазме // Физика плазмы. 1999. Т. 25. № 4. С. 311–314.
3. Карасев В. Ю., Иванов А. Ю., Дзлиева Е. С., Эйхвальд А. И. Об упорядоченных пылевых структурах, формируемых в тлеющем разряде // ЖЭТФ. 2008. Т. 133. № 2. С. 460–465.
4. Нефедов А. П., Петров О. Ф., Фортов В. Е. Кристаллические структуры в плазме с сильным взаимодействием микрочастиц // УФН. 1997. Т. 167. № 11. С. 1215–1226.
5. Томас Х., Морфилл Г. Е., Цытович В. Н. Комплексная плазма: III. Эксперименты по сильной связи и дальним корреляциям // Физика плазмы. 2003. Т. 29. № 11. С. 963–1030.
6. Fortov V. E., Ivlev A. V., Khrapak S. A., Khrapak A. G., Morfil G. E. Complex (dusty) plasmas: current status, open issues, perspectives // Physics Reports. 2005. Vol. 421. P. 1–103.

УДК 537.52; 538.9; 539.26

ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ ПОДГОРНЫЙ

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры геофизики и геологии физико-технического факультета ПетрГУ
podgvlad@psu.karelia.ru

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПЫЛЕНИЯ ШУНГИТА И ГРАФИТА В ДУГОВОМ РАЗРЯДЕ

В статье показана возможность модификации структуры шунгита за счет обработки его в дуговом разряде в среде инертного газа и доказана возможность получения из него фуллеренов после такой обработки. В режиме дуги с термокатодом обнаружено формирование катодного депозита в виде цилиндрического стержня. Показана возможность использования такого депозита в качестве распыляемого анода для получения фуллеренов в аргонной и гелиевой дугах.

Ключевые слова: дуговой разряд, шунгит, графит, катодный депозит, фуллерен

ВВЕДЕНИЕ

С момента открытия замкнутых углеродных структур бурными темпами развивались методы их получения. К настоящему времени разработаны такие методы и установки, которые позволяют получать эти вещества в производственных количествах [8]. Одним из наиболее простых способов является дуговой разряд в среде инертного газа. При этом в качестве электродов используют, как правило, графитовые стержни и в качестве среды горения – гелий. Случаи использования других газов весьма редки и довольно скудно описаны в литературе.

При массовом производстве большое значение имеет стоимость конечного продукта. Поэтому целесообразно искать более дешевые заменители как материала электродов, так и среды горения. В качестве последней можно применять аргон, который является намного более дешевым и более распространенным газом по сравнению с гелием. К тому же этот газ

обладает меньшим потенциалом ионизации по сравнению с гелием и, следовательно, меньшим напряжением горения дугового разряда. Поэтому применение аргона в дуге позволит существенно удешевить производство фуллереноподобных структур.

Перспективным и дешевым материалом для электродов дуги на первый взгляд представляется шунгитовая порода. Шунгиты содержат связанный углерод в количестве от долей до 99 % и небольшое количество других компонентов. Методами электронной микроскопии установлено, что в некоторых шунгитах углерод залегает в виде небольших квазисферических наночастиц-глобул размером 10–20 нм [10]. Графитоподобная сетка этих глобул позволяет надеяться на относительную легкость получения из них замкнутых углеродных структур типа фуллеренов. В настоящей работе описываются результаты экспериментальных исследований распыления шунгита и графита в дуговом разряде с целью получения указанных структур.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальная установка состояла из вакуумного колпака, водоохлаждаемой разрядной камеры цилиндрической формы, системы напуска газа и источника выпрямленного напряжения 60 В. В качестве распыляемого анода использовались либо сколотые образцы шунгита ШЗ (содержащие 98 % углерода) толщиной 4...6 мм, закрепленные на графитовой подложке, либо стержни диаметром 6 мм из графита марки ОСЧ 7-3. В свою очередь, катодом служил либо заостренный в виде конуса графитовый стержень, либо плоская графитовая пластинка размером 30 x 15 x 5 мм. Электроды размещались в горизонтальном положении с торцов разрядной камеры. Катод имел возможность перемещаться вдоль своей оси. Камера размещалась внутри вакуумного колпака. Через смотровые окна, имеющиеся на колпаке, можно было визуально контролировать процессы поджога и горения дуги. С помощью форвакуумного насоса колпак откачивался до давления остаточных газов $p \cong 1$ Па. После этого рабочий объем заполнялся аргоном или гелием марки ВЧ.

Поджог дуги осуществлялся путем разогрева электродов при их кратковременном замыкании. Межэлектродный зазор в рабочем режиме регулировался в пределах 0,1...10 мм. Ток дуги варьировался от 30 до 150 А, а давление аргона – от 1×10^4 до 7×10^4 Па. Время горения дугового разряда составляло около 30 мин.

Объектом исследования служили продукты распыления, образующиеся на стенках разрядной камеры и колпака, на держателях электродов и других деталях внутри разрядной камеры и колпака.

Морфология этих веществ исследовалась с помощью растрового электронного микроскопа РЭМ-200, просвечивающего электронного микроскопа ЭМ 125 и оптических микроскопов. Элементный анализ производился с помощью электронного растрового микроскопа Vega-Teskan. Рентгеноструктурные исследования производились на рентгеновском дифрактометре ДРОН-4 с использованием $C\alpha$ -излучения. Инфракрасные спектры (ИК) пропускания полученных веществ в виде прессованных в КВг таблеток измерялись на спектрофотометре Specord M 80.

Образующаяся сажа удалялась со стенок разрядной камеры и заливалась толуолом либо о-ксилолом. После выдержки в течение 2–3 суток окрашенный настой удалялся и заливался чистый растворитель. Такая процедура повторялась несколько раз до тех пор, пока настой не оставался прозрачным в видимой области спектра. Выпаривание растворителя из окрашенного настоя осуществлялось при температуре $T \leq 500$ К при помощи водоохлаждаемого стеклянного дистиллятора.

Спектрофотометрические исследования окрашенных настоев производились с помощью спектрофотометров СФ-26 и КФК-4.

Величина выхода экстракта определялась двумя способами. В первом (весовом) методе измерялось изменение массы сажи до и после экстракции из нее фуллеренов. Во втором методе производилось сравнение оптической плотности окрашенного настоя с плотностями набора эталонных настоев, содержащих различные количества экстракта и одинаковое количество растворителя [2].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование дуги с шунгитовым анодом

В процессе исследований было установлено, что нагрев образцов в дуге часто приводит к расщеплению цельного куска на несколько плоскопараллельных, достаточно непрочных пластинок толщиной порядка 1–2 мм. Очевидно, что этот эффект является следствием слоистой структуры исходного материала [10]. Причем при быстром подъеме температуры часть пластинок может отлетать от образца, в результате чего его размеры могут сильно измениться. Дуговой разряд способствует образованию в образцах кратера глубиной до нескольких миллиметров, пронизывающего некоторые пластинки насквозь и до некоторой степени скрепляющего их в единое целое.

На рис. 1 приведена микрофотография одного из таких кратеров. Как видно, на его боковой стенке имеются сфероидальные образования размером 1–2 мкм. Очевидно, что они образовались в процессе конденсации углеродного пара. В их элементный состав, определенный с помощью микроанализатора, входят только углерод (96 ат. %) и кислород (4 ат. %).

Визуально было обнаружено, что катодный стержень не распыляется вовсе. Даже наоборот, он увеличивался в длине за счет напыления

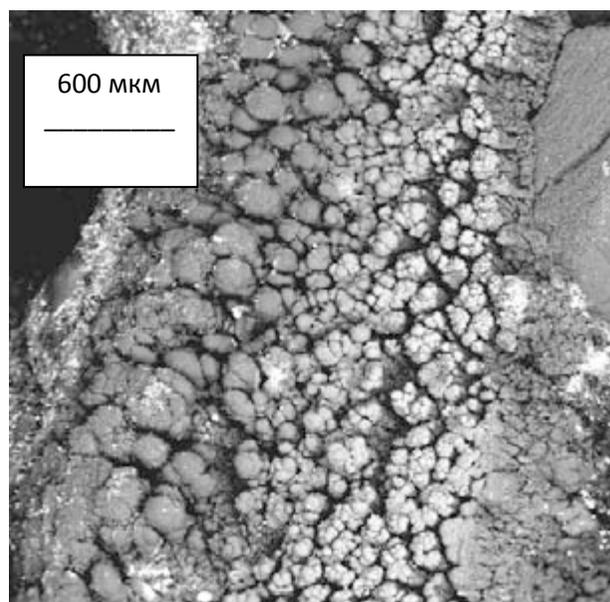


Рис. 1. Микрофотография кратера в шунгите

материала анода и формирования катодного депозита. Длительное горение дуги при небольшом токе разряда $I \leq 50$ А и межэлектродном зазоре $d \leq 0,5$ мм приводило к формированию катодного депозита-нароста в виде неправильной полусферы с выступающими из нее иглообразными отростками. Анализ показал, что периоды элементарной ячейки этого образца соответствуют ромбоэдрической модификации шунгита [1].

Рентгеноструктурные исследования также показали, что дифрактограммы дна и боковых поверхностей кратеров практически совпадают с дифрактограммой катодного депозита.

Таким образом, высокотемпературная обработка шунгита в дуге приводит к формированию графитоподобного материала.

На дифрактограммах продуктов распыления шунгита в отдельных случаях обнаруживались одиночные максимумы и аморфное гало в области углов. Область углов характерна для рефлексов гранецентрированной (ГЦК) структуры фуллерита [1]. Однако длительная выдержка достаточного большого количества (порядка 50 граммов) этих продуктов в толуоле не привела к его окрашиванию, имеющему место при растворении молекул C_{60} или C_{70} . Этот факт можно трактовать как полное отсутствие в них этих молекул и как возможное наличие в продуктах распыления только высших фуллеренов.

Далее, образцы шунгита подвергались плазменной модификации путем длительной (порядка нескольких часов) обработки их в качестве анода дугового разряда при низких токах $I \leq 30$ А. Такая термообработка приводила к существенному изменению морфологии и механических свойств образцов. Слабо скрепленные и хрупкие пластинки спекались в единый конгломерат, обладающий довольно значительной механической прочностью. Одновременно с этим процессом также происходило изменение их кристаллической структуры. Этот процесс иллюстрируется рис. 2 [5]. На нем приведены дифрактограммы образца шунгита на разных этапах такой термообработки в дуге. Появление достаточно узкого и сильного междусеточного рефлекса (002) свидетельствует об увеличении размеров областей когерентности в шунгите и, возможно, о его частичной графитизации.

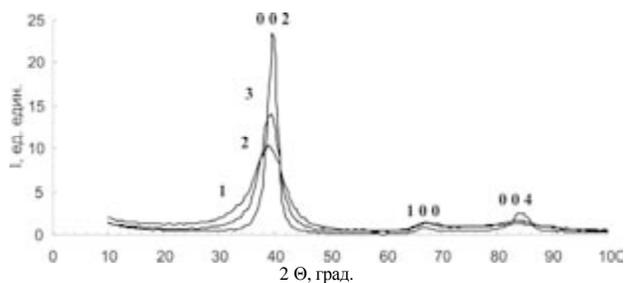


Рис. 2. Дифрактограммы шунгита: 1 – в исходном состоянии, 2 – после начальной обработки в дуге, 3 – после дополнительной модификации дуговым разрядом

Затем этот образец использовался в качестве анода. Настой толуола на саже, полученной в этих условиях, окрасился в красно-коричневый цвет [4], [5]. На спектральной зависимости оптического пропускания T этого настоя от длины волны λ обнаруживались максимумы поглощения при $\lambda_1 = 470$ нм и при $\lambda_2 = 330$ нм. Как известно, эти максимумы соответствуют возбуждениям молекул C_{70} и C_{60} соответственно [4].

Далее мы проверили возможность использования в качестве анода шунгитового депозита-нароста. С этой целью после формирования нароста длиной около 10 мм дуга выключалась, и графитовый стержень с наростом подключался к положительному электроду источника тока. Настой толуола на саже, полученной в этих условиях, также показал характерное окрашивание, и на зависимости $T(\lambda)$ появлялись максимумы поглощения при λ_1 и λ_2 [4].

Таким образом, можно предположить, что модифицирование шунгита в графитоподобное вещество в условиях дугового разряда приводит к возможности образования из этого материала молекул фуллеренов C_{60} и C_{70} в процессе вторичного распыления в дуге, тогда как при первичном распылении шунгита этих молекул в продуктах распыления не обнаруживается.

Относительный выход экстракта фуллеренов β из шунгитовой сажи определялся весовым методом по формуле: $\beta = (m_0 - m_1)/m_0$, где m_0 – масса исходной сажи, m_1 – масса сажи после экстракции из нее фуллеренов. В процессе этих измерений было обнаружено, что остаток сажи после отделения фуллеренов (в литературе это вещество в случае графитовой сажи называют чернью или black) чрезвычайно интенсивно сорбирует молекулы воздуха (возможно, в основном молекулы кислорода) при комнатной температуре после прокалывания. Так, масса сажи (порядка 20 мг), прокаленной при 500 К для удаления остатков растворителя, после остывания до комнатной температуры увеличивалась почти в 2 раза. С учетом этого обстоятельство любые весовые измерения (при столь малых количествах сажи) не выглядят однозначными и дают завышенные значения выхода [4]. По нашим оценкам, выход экстракта фуллеренов из шунгитовой сажи не превышал 1–2 масс. %.

При распылении шунгитов в дуговом разряде образование фуллереноподобных структур может происходить за счет двух сильно различающихся механизмов. Во-первых, они могут получаться при испарении глобул или за счет какого-то механизма сворачивания глобулярного углерода с последующим испарением. Во-вторых, эти структуры могут образовываться в углеродно-аргоновой плазме из углеродных кластеров [4]. Поскольку при первичном распылении шунгита в дуге молекулы C_{60} и C_{70} в саже не обнаруживаются, а на дифрактограммах присутствует аморфное гало в области углов, свойственной рефлексам фуллеренов, то можно предположить, что в этом случае

реализуется в основном первый механизм. Очевидно, что размеры глобул таковы, что из них термодинамически выгодно образование только высших фуллеренов или многослойных структур, не окрашивающих растворитель.

После превращения глобулярного углерода в графитоподобное вещество в катодном депозите или в процессе плазменной обработки шунгита формирование молекул фуллеренов при повторном распылении в дуге может реализовываться по второму механизму. Другими словами, теперь эти структуры могут «собираться» в плазме дуги из отдельных атомов или кластеров.

Результаты исследования дуги с графитовыми электродами

При работе дуги в режиме термокатода (ток разряда $I = 50...70$ А, межэлектродный зазор $l = 0,1...0,5$ мм) при всех исследованных давлениях аргона на поверхности катода напротив анода наблюдалось формирование катодного депозита-нароста в виде стержня цилиндрической формы. Очевидно, что в условиях малости межэлектродного зазора большая часть атомов материала анода переносится сквозь слой плазмы и осаждается на катоде. Причем в большинстве случаев устанавливался такой режим горения дуги, при котором величина зазора поддерживалась постоянной самопроизвольно, без всякого управления, и регулировка зазора не требовалась [6].

При силе тока разряда $I \geq 100$ А и межэлектродном зазоре $l \geq 2$ мм на катоде визуально наблюдалось ярко светящееся пятно диаметром около 5 мм, которое произвольным образом (но чаще всего по небольшой окружности) перемещалось по его поверхности. Из этого пятна истекала (также более яркая, чем остальная часть плазмы) «струя» длиной до 5 мм, которая расширялась к концу напоподобие луча прожектора и была направлена в основном под небольшим углом к аноду и к стенкам камеры. С увеличением зазора l до 8–10 мм диаметр этого пятна постепенно уменьшался примерно до 1–2 мм.

Приведенные данные свидетельствуют о работе дуги в этих условиях в режиме с катодным пятном, а «луч прожектора» представляет собой, очевидно, струю ионов материала катода с аномально высокой энергией, исходящую из катодного пятна [8]. Скорость распыления анода и количество образовавшейся сажи в этом режиме было, как правило, меньше, чем в режиме дуги с термокатодом.

Интенсивность окраски настоя толуола на саже, полученной в режиме с катодным пятном, была едва заметной. Вместе с тем на спектральной зависимости $T(\lambda)$ этого настоя наблюдались небольшие максимумы поглощения в области длин волн, свойственной поглощению фуллеренов. Выход экстракта фуллеренов в этом режиме составлял не более 1 мас. % при всех давлениях аргона [6]. Такой низкий уровень выхода в этом

режиме можно объяснить тем, что из катодного пятна вылетают ионы углерода с аномально высокой энергией, которые, по-видимому, разбивают зародыши фуллеренов и в целом не способствуют образованию фуллереноподобных структур. По этим причинам режим с катодным пятном непригоден для получения фуллеренов, и основные усилия были направлены на исследование режима с термокатодом.

В этом режиме выход экстракта из сажи, полученной в аргоновой дуге, составлял около 3 масс. %, а выход экстракта из сажи, полученной в гелиевой дуге, – примерно 12 масс. %. Средняя скорость роста высоты (или длины) депозит-нароста составляла от 0,8 до 1,5 мм/мин [6]. Как правило, она уменьшалась вместе с увеличением давления аргона. Объемная плотность этого нароста-депозита, определенная как отношение массы образца к его геометрическому объему, равнялась примерно $1,2 \times 10^3$ кг/м³. Это значение практически совпадает с плотностью углеродного депозита, полученного в гелиевой дуге [7].

На рис. 3 представлена микрофотография разлома нароста-депозита, полученного при давлении аргона $p = 3 \times 10^4$ Па. Как видно, это образование состоит из наружной квазицилиндрической оболочки и своеобразной внутренней части. В большинстве случаев последняя представляет собой пучок почти параллельных тонких углеродных волокон диаметром около 50 мкм [11].

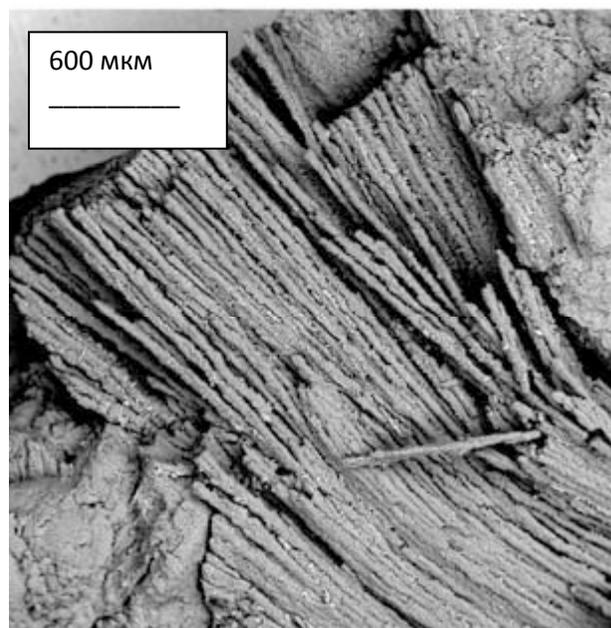


Рис. 3. Микрофотография разлома нароста-депозита при $p = 3 \times 10^4$ Па

В наших исследованиях было установлено, что морфология и внутренняя структура наростов-депозитов в значительной степени зависит от давления p аргона в разряде. При величинах

$p \geq 3 \times 10^4$ Па формировались наросты с рыхлой внутренней структурой и, следовательно, большей внутренней поверхностью. В частности, в них волокна были слабо связаны друг с другом. Причем в этом случае дуга горела очень стабильно, без замыканий, при неизменной величине l . Если же давление p находилось в диапазоне $8 \times 10^3 \dots 2 \times 10^4$ Па, то морфология нароста значительно отличалась от цилиндрической. При этом внутренние волокна имели свивающую структуру и смыкались друг с другом практически без зазора. В этом режиме неоднократно отмечались случаи замыкания электродов из-за неравномерного роста высоты нарастающего депозита по сечению [2].

Электронно-микроскопическими исследованиями было обнаружено, что внутренние волокна состоят из соединенных в гроздь сфероидальных углеродных образований. Примерно из таких же, но более мелких образований состоит и наружная оболочка [11].

Нами были проведены достаточно обширные рентгеноструктурные исследования наростов, полученных при различных давлениях аргона. Практически на всех дифрактограммах наблюдались в основном только рефлексы (002), (100), (101) и (004) гексагонального графита [3], [9]. Отсюда следует, что сфероидальные частицы состоят из углеродной фазы, близкой по структуре графиту.

В отдельных случаях, при необычно высокой скорости роста нароста-депозита $v \cong 4$ мм/мин, на его дифрактограммах в области малых углов 2Θ обнаруживались небольшие максимумы, совпадающие по своему местоположению с наиболее интенсивными рефлексами ГЦК структуры фуллерита C_{60} [11]. По нашему мнению, этот факт свидетельствует о предельном переходе шаровидных графитоподобных образований в фуллереноподобные структуры.

Как известно, в катодном депозите дугового разряда обнаруживаются и другие наночастицы, а именно углеродные нанотрубки. Подобные объекты наблюдались и в наших исследованиях [2].

Нами было проведено исследование возможности использования катодного депозита-нароста в качестве распыляемого анода в аргоновой и гелиевой дугах. Было обнаружено, что выход экстракта фуллеренов в этом случае в аргоновой дуге составляет около 2 мас. % и около 10 мас. % – в гелиевой. При этом депозит, полученный в аргоновой дуге, вновь принимал стержневидную форму с размерами исходного образца и его можно было еще раз использовать в том же качестве. Поскольку депозит является, вообще говоря, графитоподобным веществом с малыми размерами областей гомогенности, полученные данные указывают на то, что для синтеза фуллеренов нет необходимости в наличии совершенной графитовой структуры анода. Для этой цели вполне подходит любое углеродсодержащее вещество, способное обеспечить

подходящую концентрацию атомов углерода при нагреве. Этот вывод подтверждается также получением фуллеренов из минерала шунгита после его специальной обработки в дуге.

Во всех случаях наличие фуллеренов в газоразрядной саже сопровождалось появлением на дифрактограммах обширного аморфного гало в области малых углов 2Θ . Причем высота этого гало увеличивалась вместе с увеличением содержания фуллеренов и с повышением оптической плотности настоя.

На рис. 4 приведены дифрактограммы сажи, образующейся на стенках разрядной камеры и на поверхности катода. На кривой 1 на фоне гало наблюдаются слабые пики, большая часть которых совпадает с наиболее интенсивными линиями ГЦК структуры фуллерита C_{60} .

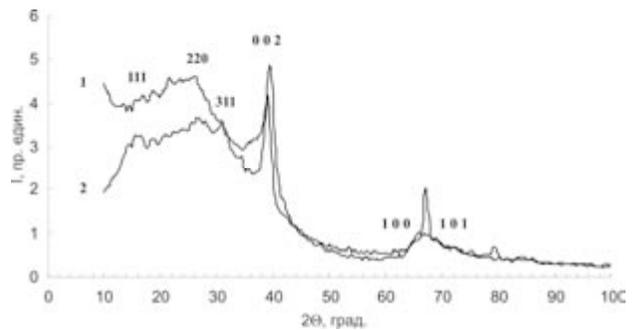


Рис. 4. Рентгеновские дифрактограммы сажи: 1 – со стенок разрядной камеры, 2 – с поверхности катода

Уместно отметить общую тенденцию, имеющую место при высокотемпературном синтезе углеродных структур из плазмы дугового разряда: атомы углерода стремятся к достижению гибридизации атомных орбиталей, в какой-то мере отличающейся от плоскостного sp^2 -типа, свойственного графиту, в сторону объемного sp^3 -типа. Поэтому получающиеся графеновые поверхности являются в основном сфероидальными или сферическими со степенью кривизны R , зависящей от условий синтеза. При достаточно большой степени кривизны образуются структуры типа сфероидальных частиц, наблюдаемых в депозите, или типа глобул в шунгите. При малой величине R формируются замкнутые углеродные структуры типа фуллеренов.

Как известно, для получения графитовой структуры углерода (то есть для формирования графенов с $R \rightarrow \infty$) обязательным этапом является неоднократное прессование и размол образцов турбостратного углерода с последующим отжигом при достаточно высокой температуре [9]. С этих позиций получение фуллереноподобных структур (то есть получение графенов с R порядка нанометров), наоборот, может происходить только в условиях свободного разлета атомов углерода в паре и при их не слишком высокой концентрации.

По мере повышения температуры и концентрации атомов углерода более предпочтительным, по-видимому, является движение в направлении sp^3 -типа гибридизации атомных орбиталей, то есть в этих условиях должна проявиться тенденция к образованию алмазоподобных структур.

С этой точки зрения для получения линейно-цепочечных карбинов (sp -тип гибридизации) нет необходимости ни в высоких температурах, ни в высокой концентрации атомов углерода в плазме. Наоборот, синтез этой углеродной фазы должен осуществляться в таких условиях, когда у атомов углерода тенденция к формированию sp^2 -типа гибридизации была бы полностью подавлена [2].

Фуллеренсодержащий (окрашенный) настой продуктов распыления в толуоле отделялся от нерастворимого осадка (черни) и помещался в стеклянную испарительную ячейку, в состав которой входило охлаждаемое проточной водой устройство для охлаждения пара. При температуре $T \cong 500$ К производилось выпаривание и пере конденсация чистого толуола.

Исследования показали, что основными компонентами кристалликов фуллерита являются углерод (95 ат. %) и кислород (5 ат. %). Других элементов в их объеме с помощью микроанализатора не обнаружено. Большинство примесей располагались на стыке кристаллитов. Их примерный состав следующий: кислород – 4 ат. %, кремний – 0,1 ат. %, хлор – 0,1 ат. %, алюминий – 0,04 ат. % [2].

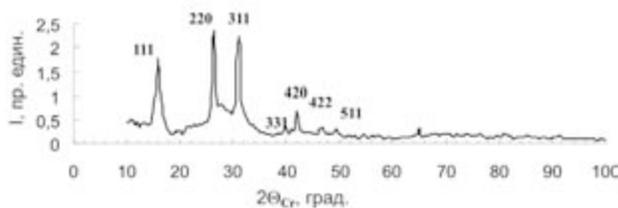


Рис. 5. Дифрактограмма экстракта фуллеренов

На рис. 5 приведена рентгеновская дифрактограмма кристалликов полученного экстракта, а на рис. 6 – их ИК-спектр [2]. На дифрактограмме рис. 5 обнаруживаются только рефлексы (111),

(220), (311), (420), (422) и (511) ГЦК структуры фуллерита C_{60} . Однако в ИК-спектре (рис. 6) видны пики при 528, 576, 1184 и 1432 cm^{-1} , принадлежащие молекуле C_{60} , и пики при 644, 676, 796 и 1184 cm^{-1} , идентифицируемые с колебаниями молекулы C_{70} . (Максимум при 1724 cm^{-1} , возможно, обусловлен валентными колебаниями двойной связи углерода $C = C$.) На основании этих данных можно сделать вывод о том, что молекулы C_{70} не образуют своей решетки в данном случае.

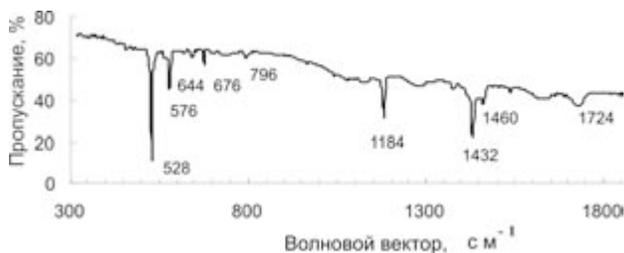


Рис. 6. ИК-спектр экстракта

ВЫВОДЫ

1. Обнаружено, что при первичном распылении шунгита в дуге молекулы фуллеренов C_{60} и C_{70} в саже не регистрируются.
2. Показана возможность модификации структуры шунгита за счет обработки в плазме дугового разряда и доказана возможность получения из них после такой обработки молекул фуллеренов.
3. Исследована морфология наружной и внутренней частей катодного депозита.
4. Показано, что микроструктура внутренней части представляет собой пучок параллельных углеродных волокон, состоящих, в свою очередь, из скопления сфероидальных частиц.
5. Исследована морфология, элементный состав и структура кристалликов фуллерита, образующихся после выпаривания толуола.
6. Показана возможность повторного использования нароста-депозита в качестве анода для получения фуллереноподобных структур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алешина Л. А., Подгорный В. И., Стефанович Г. Б., Фофанов А. Д. Исследование распыления шунгитов с помощью дугового разряда // ЖТФ. 2004. Т. 74. № 9. С. 43–46.
2. Подгорный В. И., Белашев Б. З., Киселев В. П., Терновой А. Н., Яковлев А. Н. Исследование морфологии, элементного состава и структуры продуктов распыления дугового разряда в аргоне // Материаловедение. 2007. № 9. С. 37–44.
3. Подгорный В. И., Белашев Б. З., Киселев В. П., Терновой А. Н., Яковлев А. Н. Исследование морфологии, элементного состава и структуры продуктов распыления дугового разряда в аргоне // Материалы X Междунар. конф. «Водородное материаловедение и химия углеродных наноматериалов». Киев: АНУ, 2007. С. 448–449.
4. Подгорный В. И., Стефанович Г. Б. О некоторых результатах исследования модификации шунгитов в дуговом разряде // Материаловедение. 2006. № 2. С. 8–11.

5. Подгорный В. И., Стефанович Г. Б., Яковлев А. Н., Белашев Б. З. О получении фуллереновых структур путем распыления шунгита и графита в дуговом разряде // Спектроскопия, рентгенография и кристаллохимия минералов. Казань: Плутон, 2005. С. 202–205.
6. Подгорный В. И., Яковлев А. Н. Некоторые особенности получения фуллеренов с помощью дугового разряда в аргоне // Материаловедение. 2005. № 9. С. 42–47.
7. Подгорный В. И., Яковлев А. Н., Белашев Б. З. О некоторых особенностях получения фуллеритов в аргонной дуге // Материалы IX Междунар. конф. «Водородное материаловедение и химия углеродных наноматериалов». Киев: АНУ, 2005. С. 396–397.
8. Раков Э. Г. Нанотрубки и фуллерены. М.: Логос, 2006. 376 с.
9. Уббеллоде А. Р., Льюис Ф. А. Графит и его кристаллические соединения: Пер. с англ. М.: Мир, 1965. 256 с.
10. Шунгиты – новое углеродистое сырье / Под ред. В. А. Соколова и др. Петрозаводск: Карелия, 1984. 182 с.
11. Podgorny V. I., Yakovlev A. N., Belashev B. Z. On some special features of carbon nanostructure fabrication in argon arc discharge // NATO Security through Science. Series A: Chemistry and Biology. Hydrogen Materials Science and Chemistry of Carbon Nanomaterials / Editors T. N. Veziroglu et al. 2006. P. 745–752.

ХРОНИКА

■ 22–29 сентября 2008 года в городе Петрозаводске прошло крупное научное мероприятие – XII ДЕЛЕГАТСКИЙ СЪЕЗД РУССКОГО БОТАНИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА. В рамках съезда состоялась Всероссийская научная конференция «ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БОТАНИКИ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА».

Русское ботаническое общество (РБО) – старейшее научное общество России, основанное в 1915 году. Председателями президиума Общества в разные годы были академики И. П. Бородин, В. Л. Комаров, В. Н. Сукачев, Е. М. Лавренко, А. Л. Тахтаджян. В последние годы общество ботаников России возглавляет член-корреспондент РАН Р. В. Камелин. РБО – одно из самых многочисленных научных обществ России, в нем насчитывается 2350 человек – преподавателей вузов и школ, научных работников, аспирантов и студентов, любителей-ботаников. Среди них – 4 академика РАН, 10 членов-корреспондентов РАН, 306 докторов и 1017 кандидатов наук. Общество включает 51 региональное отделение, среди которых и Карельское отделение РБО, насчитывающее 58 членов.

Петрозаводск не случайно был выбран площадкой для проведения XII Съезда РБО: здесь удачно сочетаются фундаментальные и прикладные исследования, сложились и активно работают научные школы по болотоведению и лесоведению, экологической физиологии растений. Заметны достижения карельских ботаников в исследовании флоры и изучении природных ресурсов региона. Одной из основных задач своей деятельности карельские ученые считают сохранение уникального растительного мира Восточной Фенноскандии.

Председателями оргкомитета конференции и съезда были Р. В. Камелин, президент РБО, чл.-корр. РАН (Санкт-Петербург), и А. Ф. Титов, председатель КарНЦ РАН, чл.-корр. РАН (Петрозаводск). Активное участие в работе оргкомитета и организации съезда приняли ботаники Карелии – преподаватели и сотрудники ПетрГУ, КарНЦ, КГПУ. В работе съезда и конференции приняли участие 430 специалистов-ботаников из всех регионов России (от Мурманска до Дагестана, от Калининграда до Владивостока) и ряда зарубежных государств.

Научная программа конференции отражала основные направления современной ботаники, ее проблемные и дискуссионные вопросы. Работа конференции проходила по 17 секциям: 1. Биосистематика, кариосистематика и молекулярная филогения; 2. Структурная ботаника; 3. Эмбриология и репродуктивная биология; 4. Экологическая физиология и биохимия растений; 5. Альгология; 6. Лихенология; 7. Микология; 8. Бриология; 9. Геоботаника; 10. Ботаническое ресурсоведение; 11. Культурные и сорные

растения; 12. Охрана растений; 13. Палеоботаника; 14. Систематика высших растений и флористика; 15. Сравнительная флористика; 16. Урбанофлора; 17. Интродукция растений. Были заслушаны и обсуждены более 250 устных и более 100 стендовых докладов. В работе секций приняли активное участие карельские ботаники – члены РБО, в том числе преподаватели и сотрудники кафедры ботаники и физиологии растений и Ботанического сада ПетрГУ.

Материалы конференции изданы в шести частях. Все тома переданы оргкомитетом в Научную библиотеку ПетрГУ. В электронном виде с материалами конференции можно познакомиться на сайте <http://www.krc.karelia.ru/publ.php?plang=r>.

На съезде председателем РБО был вновь избран Р. В. Камелин. В состав Совета РБО вошли представители региональных отделений общества. Карельское отделение РБО в новом Совете РБО будут представлять д.б.н. О. Л. Кузнецов, председатель Карельского отделения общества (Институт биологии КарНЦ РАН), и д.б.н. А. М. Крышень (Институт леса КарНЦ РАН), который избран членом Президиума Совета РБО. Почетным членом РБО по представлению Карельского отделения РБО была избрана доцент кафедры ботаники и физиологии растений А. С. Лантратова.

В резолюции съезда и конференции подчеркнуто, что проведенный в г. Петрозаводске съезд РБО и конференция стали важным событием в развитии ботанической науки в России на современном этапе. На съезде было принято решение о проведении следующего XIII съезда РБО в 2013 году в г. Санкт-Петербурге.

Участники конференции смогли познакомиться с уникальным растительным миром Карелии во время экскурсий в заповедник «Кивач», Ботанический сад ПетрГУ, на остров Кижы, а также во время многодневной экскурсии по Северному Приладожью. Оргкомитет съезда выразил благодарность ПетрГУ, Институту биологии и Институту леса КарНЦ РАН, КГПУ за сложнейшую работу по организации и успешному проведению съезда.

*Г. С. Антипина,
доктор биологических наук, профессор
кафедры ботаники и физиологии растений
эколого-биологического факультета ПетрГУ
А. М. Крышень,
доктор биологических наук, заместитель
председателя по научной работе КарНЦ РАН*



24 декабря 2008 года исполнилось 80 лет доктору медицинских наук, профессору кафедры акушерства и гинекологии медицинского факультета ПетрГУ *Лидии Алексеевны Самородиновой*.

ЛИДИЯ АЛЕКСЕЕВНА САМОРОДИНОВА К 80-летию со дня рождения

В 1952 году Лидия Алексеевна окончила Самаркандский медицинский институт им. академика И. П. Павлова. Непродолжительное время работала акушером-гинекологом в Узбекистане. В дальнейшем – клиническая ординатура, аспирантура, работа в должности ассистента и доцента кафедры акушерства и гинекологии Ленинградского ГИДУВа.

В 1965 году Л. А. Самородинова защитила кандидатскую диссертацию на тему «Применение стероидных гормонов коры надпочечников при воспалительных заболеваниях внутренних половых органов женщин (клинико-экспериментальное исследование)». В 1981 году в НИИ акушерства и гинекологии Академии медицинских наук г. Ленинграда была защищена докторская диссертация «Особенности клинического течения и ведения родов, сократительной деятельности матки в зависимости от локализации плаценты».

С 1982 года Л. А. Самородинова постоянно работает на кафедре акушерства и гинекологии ПетрГУ – вначале заведующей кафедрой, с 1999 года – в должности профессора.

Основные направления научной деятельности Лидии Алексеевны – клиническое и экспериментальное исследование течения воспалительных процессов внутренних половых органов, эпидемиология врожденных пороков развития плода и новорожденного в Карелии, репродуктивное здоровье подростков Карелии, эндокринологические аспекты в акушерстве и гинекологии: изучение патогенеза крупного плода, влияние патологии щитовидной железы на здоровье беременной и новорожденного, гормональные и иммунологические аспекты невынашивания беременности, маточные кровотечения в перименопаузе. Под руководством профессора Л. А. Самородиновой защищено 7 кандидатских диссертаций и одна докторская. Лидия Алексеевна является автором 225 печатных работ, в том числе 6 пособий.

За долгие годы работы профессор Л. А. Самородинова проявила себя как хороший организатор, успешно сочетая педагогическую, научно-исследовательскую и лечебно-консультативную работу. «Замечательный доктор и учитель с большой буквы», – так отзываются о Лидии Алексеевне сотрудники кафедры, ее коллеги и ученики.

За большие заслуги в совершенствовании акушерско-гинекологической помощи населению Карелии, а также в подготовке квалифицированных кадров Л. А. Самородиновой присвоено высокое звание «Заслуженный врач Карелии» и «Заслуженный деятель науки Республики Карелия».

Поздравляем Лидию Алексеевну с юбилеем и желаем ей здоровья, бодрости и долгих лет жизни!



21 декабря 2008 года исполнилось 85 лет доценту кафедры ботаники и физиологии растений эколого-биологического факультета Петрозаводского государственного университета *Антонине Степановне Лантратовой*.

ПАТРИАРХ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ КАРЕЛИИ

Антонина Степановна Лантратова является одним из старейших работников высшего образования Карелии.

После окончания аспирантуры и успешной защиты кандидатской диссертации при Ленинградском педагогическом институте им. Покровского по распределению вместе с родителями она приехала в Карелию и с 1952 года по сегодняшний день работает в качестве доцента кафедры ботаники и физиологии растений эколого-биологического факультета Петрозаводского государственного университета.

Становление молодого исследователя в студенческие и аспирантские годы проходило при участии выдающихся ботаников России. В институте А. С. Лантратова училась на географическом факультете, где деканом был профессор А. Л. Биркенгоф – выдающийся педагог, известный географ, работавший на Камчатке, который всячески способствовал профессиональной подготовке талантливой студентки – ленинского стипендиата. Заведующим кафедрой ботаники и физиологии растений в этом институте был член-корреспондент АН СССР, академик Туркменской АН М. П. Петров, который читал курс общей ботаники. Под его руководством прошло не только обучение в вузе, но и аспирантская подготовка, во время которой Антонина Степановна была сталинским стипендиатом. Аспирантура завершилась досрочной блестящей защитой кандидатской диссертации на тему «Белопольные формации в системе Калмыцкой степи» в Научном совете при ЛГПИ. Материал для диссертации был собран в экспедиции АН СССР по разработке лесных полос в районе движущихся песков и по охране берегов Волги. Начальником экспедиции был академик В. И. Сукачев, который уделял большое внимание подготовке студентов в экспедиции. В районе исследования от Енотаевска до Астрахани (правобережье Калмыцкой степи) студентки А. С. Лантратова и И. В. Борисова два сезона работали в отряде профессора Л. Е. Родина (БИН АН). В 1949 году была организована большая экспедиция АН под руководством члена-корреспондента АН СССР, академика Казахской АН СССР И. П. Герасимова по разработке Каракумского канала в районе от Ашхабада до Устюрта. В составе геоботанического отряда, которым руководил профессор ЛГУ М. Х. Бломенталь, работали два молодых геоботаника – А. С. Лантратова и Ю. А. Нешатаев. В очень юном возрасте А. С. Лантратовой доверяют большой блок исследовательских работ по государственному заказу, и она участвует в написании научного заключения. Условия работы были сложными, и отряд был вынужден двигаться на самом разном транспорте – машинах, лошадях, верблюдах, но, как вспоминает Антонина Степановна, все задачи были выполнены. Большую

роль в становлении А. С. Лантратовой сыграл профессор И. В. Грушевицкий (сотрудник БИН), который не только читал прекрасные лекции в институте, но и пригласил ее в геоботанический отряд экспедиции под руководством академика Е. Н. Павловского. Экспедиция работала в горном массиве Сихоте-Алинь на Дальнем Востоке. В задачу отряда входила инвентаризация лесных экосистем (тиссовые леса) на предмет очагов клещевого энцефалита, но Антонина Степановна также проводила инвентаризационные исследования по любимому объекту исследования И. В. Грушевицкого – женьшеню.

В этот удивительно насыщенный научными исследованиями период жизни Антонина Степановна сформировала свое представление о том, каким должен быть ученый, как он должен работать и общаться с молодежью, и до сих пор остается верна своим принципам. Даже в самые тяжелые моменты, когда кажется, что «ничего никому не нужно», А. С. Лантратова не изменяет своим идеалам. Это самое удивительное качество, которое не затрагивают ни отношение начальства, ни тяготы жизни, ни современные перестройки, ни возраст.

Научные исследования, в том числе и геоботанические, всегда занимали приоритетное положение в интересах А. С. Лантратовой. Как доцент кафедры Карело-Финского государственного университета она участвовала в различных ботанических исследованиях Карелии. В 60-х годах прошлого века правительство Карелии поставило задачу изучения запасов пастбищных и сенокосных угодий для развития животноводства в Южной Карелии. Руководителем этих исследований был заведующий кафедрой ботаники и физиологии растений биологического факультета ПГУ профессор А. В. Штанько. В этой работе при активном участии А. С. Лантратовой были выявлены основные типы лугов и кустарниковых пастбищ, разработаны рекомендации по улучшению сенокосных и пастбищных угодий. В 2000 году совместно с сотрудниками Ботанического сада ПетрГУ начались биогеоценологические исследования новой заповедной территории (около 300 га) как полевого полигона для студенческой практики. А. С. Лантратова совместно с Е. А. Платоновой возглавила блок геоботанических исследований.

Антонина Степановна Лантратова является широко известным в Карелии, России и за рубежом специалистом-дендрологом, к знаниям которого постоянно обращаются ученые, коллеги по педагогической работе, архитекторы, студенты и специалисты по озеленению. Обращение к интродукции произошло при участии доцента кафедры Е. А. Овчинниковой, с которой Антонина Степановна участвовала в своей первой экспедиции по инвентаризации интродуцентов в Карелии в 1953–1954 годах. Затем начались системные работы А. С. Лантратовой по истории интродукции, апробация различных методов интродукции (в частности, флорогенетическими комплексами),

инвентаризация интродуцентов Карелии, теоретические разработки, связанные с географическим происхождением интродуцированных видов и их генезисом. В 1990-е годы началось исследование влияния интродукционных процессов на обогащение дендрофлоры Карелии и рассмотрены компоненты биоразнообразия в городской среде. В настоящее время под руководством А. С. Лантратовой проведены инвентаризационные работы по древесно-кустарниковым растениям городов Карелии, а также парковых территорий Петрозаводска, что является основой для реконструкции этих мест.

В науке Антонина Степановна очень ценит контакты, поэтому тесно общается с коллегами по работе и принимает активное участие в совещаниях, которые проводятся в России и за рубежом.

А. С. Лантратова разработала около 10 различных курсов для студентов эколого-биологического и лесоинженерного факультетов. Особо следует отметить ее внимание к курсу большого спецпрактикума, который всегда на кафедре соответствовал «веянию времени». Совместно с доцентом М. В. Чехониной был методически разработан курс «Морфолого-экологический анализ при изучении флоры Карелии», затем, когда в университете был организован Центр новых информационных технологий, совместно с М. А. Шредерс подготовлена новая методическая разработка «Использование ГИС-технологий в ботанике». Чувство «образовательного фарватера» никогда не подводит А. С. Лантратову, и она всегда соответствует времени. Умение работать со студентами почти всегда приводит к нескольким публикациям по результатам дипломной работы, а также сохранению творческого контакта со своими учениками в течение длительного времени после окончания университета. Ее воспитанники трудятся в различных областях науки, производства и педагогики; являются руководящими работниками различных разделов научной и производственной деятельности в Карелии и России. Большое число ее бывших студентов-дипломников являются кандидатами и докторами наук (Е. Ф. Марковская, Г. С. Антипина, Н. В. Василевская, В. А. Бакалин и др.). В. А. Бакалин, защитивший докторскую диссертацию в 2008 году, один из открытых им новых видов печеночников назвал именем своего учителя: «*Lophozia Lantratroviae* – Лофозия Лантратовой. Вид назван в честь карельского ботаника и педагога Антонины Степановны Лантратовой». Почти все сотрудники кафедры ботаники и физиологии растений либо в студенческие, либо в аспирантские времена были учениками или активно общались с А. С. Лантратовой по своей научной и педагогической работе. Энциклопедичность знаний, удивительная память, уверенность и смелость позволяют А. С. Лантратовой профессионально браться за любое новое дело.

Антонина Степановна жила в блокадном Ленинграде, и эти воспоминания не дают ей покоя по сей день, но именно то трудное время стало основой формирования активной жизненной позиции, что вместе с талантом руководителя позволило Антонине Степановне войти в историю университета в качестве одного из организаторов научно-исследовательской работы студентов. И в настоящее время она остается куратором научной работы студентов на кафедре ботаники и физиологии растений.

Популярность Антонины Степановны в Карелии связана с чтением лекций по современным проблемам ботаники перед учителями, а также с организацией и проведением Республиканских и Российских олимпиад школьников по биологии. Уже более 50 лет совместно с В. П. Моисеевой она или возглавляет оргкомитет, или работает в нем.

В течение 35 лет А. С. Лантратова была ученым секретарем Ученого совета ПетрГУ.

А. С. Лантратовой принадлежит более 130 печатных научных работ, она является автором и соавтором 11 монографий, 2 определителей древесных растений и более 10 методических пособий. За период работы имеет награды: нагрудный знак СССР «За отличные успехи в работе и подготовке специалистов», звание «Заслуженный работник образования Республики Карелия», Почетные грамоты Президиума Вер-

ховного Совета РК и ряд других наград, связанных с работой по НИРС. В 2008 году она выбрана почетным членом Всероссийского общества ботаников России.

Во всем Антонину Степановну отличает предельная требовательность и внимательность. Она может ошибаться, но умеет исправлять свои ошибки, прощать их другим и уверенно идет вперед, почти не оглядываясь назад.

Неудивительно, что любимым деревом А. С. Лантратовой является лиственница – мощный долгожитель северной природы, имеющий настолько плотную древесину, что изделия из нее хранятся веками. Об этом чуде природы Антонина Степановна знает все, именно ею была посажена коллекция лиственниц в Ботаническом саду ПетрГУ, которые к настоящему времени превратились в высокие стройные деревья – золотой фонд дендрария сада.

Мы благодарны Антонине Степановне за те уроки жизни, на которых присутствуем, за те идеалы, которые она неустанно проповедует, за постоянный интерес к научной и педагогической работе. Мы поздравляем нашу коллегу с юбилеем, желаем здоровья, новых творческих решений, талантливых учеников и удачи!

*Е. Ф. Марковская,
доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой ботаники
и физиологии растений эколого-биологического факультета ПетрГУ*

ЕДИНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К РУКОПИСЯМ, ПРЕДСТАВЛЯЕМЫМ В ЖУРНАЛ

Публикации в журнале подлежат статьи, ранее не печатавшиеся в других изданиях.

Статья предоставляется в распечатанном виде на бумаге формата А4 (в двух экземплярах) и в электронном виде, на носителе или вложением в электронное письмо на адрес редакции журнала. Печатная версия статьи подписывается всеми авторами.

Статья набирается в текстовом редакторе Microsoft Word и сохраняется с расширением .doc. Объем оригинальной и обзорной статьи не должен превышать 1 печатный лист, кратких сообщений – 5–6 страниц, отчетов о конференциях и рецензий на книги – 3 страницы. Поля: верхнее и нижнее – 2 см, правое и левое – 3 см. Абзацный отступ – 0,5 см. Шрифт: Times New Roman, размер – 14 пунктов, аннотация, список литературы – 12 пт, межстрочный интервал – полуторный. Нумерация страниц – справа внизу страницы.

Статья должна состоять из следующих элементов: названию статьи должен предшествовать индекс универсальной десятичной классификации (УДК) в левом верхнем углу. Далее через 1 интервал – название статьи жирным шрифтом заглавными буквами, название должно быть по возможности кратким, точно отражающим содержание статьи. Точка в конце названия статьи не ставится. Сведения об авторе (имя, отчество, фамилия автора (-ов) полностью; ученая степень и звание; место работы: вуз, факультет, кафедра; должность; электронный адрес и контактные телефоны). Аннотация (объемом не более 6 строк) на русском и английском языках, перед ней – название статьи и фамилия (-ии) автора (-ов) также на 2 языках; ключевые слова от 3 до 8 слов (или словосочетаний, несущих в тексте основную смысловую нагрузку) также на двух языках. Все перечисленные элементы статьи отделяются друг от друга пустой строкой и печатаются без абзацного отступа через 1 интервал.

Основной материал статьи и цитат, приводимых в статье, должен быть тщательно выверен автором. Сокращения слов не допускаются, кроме общепринятых сокращений химических и математических величин и терминов. Размерность всех физических величин следует указывать в системе единиц СИ.

Список литературы, примечания, комментарии и пояснения по тексту статьи даются в виде концевых сносок. Список литературы должен быть напечатан через одинарный интервал, на отдельном листе. Цитируемая в статье литература (автор, название, место, издательство, год издания и страницы (от и до или количество)) приводится

в алфавитном порядке в виде списка в конце статьи (сначала отечественные, затем зарубежные. Фамилии иностранных авторов приводятся в оригинальной транскрипции). В тексте статьи ссылка на источник делается путем указания в квадратных скобках порядкового номера цитируемой книги или статьи, через точку с запятой – цитируемых страниц, если это необходимо. В книгах иностранных авторов, изданных на русском языке, после заглавия книги через двоеточие указывают, с какого языка сделан перевод. Выходные данные по статьям из журналов и сборников указывают в следующем порядке: фамилия (-ии) автора (-ов) с инициалами, название статьи, через две косые черты – название журнала (год, том, номер, страницы (от и до) или сборника (место издания, год, страницы (от и до))). По авторефератам – фамилия, инициалы, полное название автореферата, после которого ставят двоеточие и указывают, на соискание какой степени и в какой области науки защищена диссертация, место издания, год, страницы.

Таблицы – каждая печатается на отдельной странице, нумеруется соответственно первому упоминанию ее в тексте и снабжается заголовком. Таблицы должны быть предоставлены в текстовом редакторе Microsoft Word (формат .doc). В тексте следует указать место таблицы и ее порядковый номер.

Иллюстрации (рисунки, фотографии, схемы, диаграммы) нумеруются, снабжаются подписями и представляются в виде отдельных растровых файлов (в формате .tif, .jpeg), а в тексте рукописи указывается место, где они должны быть размещены. Для оригиналов (бумажная версия) на обороте каждой иллюстрации ставится номер рисунка, фамилия автора и пометка «верх», «низ». Каждый рисунок (их не должно быть более 5–6) должен иметь название и объяснение всех кривых, цифр, букв и прочих условных обозначений, размещенных под ним. В тексте статьи должна быть ссылка на конкретный рисунок, например (рис. 1).

Статьи, поступившие в редакцию, обязательно рецензируются. Если у рецензентов возникают вопросы, статья возвращается на доработку. Редакция оставляет за собой право внесения редакторских изменений в текст, не искажающих смысла статьи.

Материалы, не соответствующие предъявленным требованиям, к рассмотрению не принимаются.

Решение о публикации принимается редакционной коллегией журнала.

CONTENTS

ARCHTECTURE AND CONSTRUCTION

- Markadanov Yu. V., Tanicheva N. V., Rat'kova E. I.*
TO THE JUBILATION OF THE FACULTY OF CIVIL ENGINEERING7
Rossypnova A. M.
EXPERIENCE IN PARTNERSHIP9

Grishina I. E.
THE INFLUENCE OF RUSSIAN-KARELIAN INTERACTION IN TRADITIONAL DWELLINGS OF NORTHERN KARELIA

Summary: The results of the Northern Karelian traditional dwelling study based on the materials of subregion survey and collected by the expedition of the Research Institute of Historical-Theoretical Problems in Folk Architecture, Petrozavodsk State University (2004–2007) are presented in the article. The typological specificity of wooden dwellings and its elements are described; the issue about local architectural tradition as integrated Karelian-Russian one is raised.

Key words: North Karelia, Pomor Coasts of the White Sea, Karelian, architectural traditions, dwelling, izba, stove, structure of a living-household complex10

Medvedev P. P., Medvedeva E. P.
THE MORPHOLOGY OF REGIONAL SYSTEM OF SETTLING IN THE RUSSIAN NORTH

Summary: The article is devoted to the investigation of the morphology of the highest hierarchical level in the complex structure of traditional architectural-spatial systems and objects of native folk architecture – the regional system of settling in the Russian North, territorially covering the lands of two republics and five districts of the North-West of Russian Federation.

Key words: The Russian North, morphology, traditional architectural-spatial systems and objects, folk architecture20

Petrov A. N., Voronin Z. A., Evseeva A. V.
SOME FEATURES OF NONLINEAR DESIGN OF REINFORCEMENT DEEP BEAMS WITH CRACKS UNDER CYCLIC LOADING

Summary: Some features of the nonlinear analysis of stress – strain state of reinforcement deep beams with cracks under cyclic loading is taken in consideration. Design method is based upon the nonlinear model of reinforcement by N. I. Karpenko. Some results of numerical design of the experimental deed beam tested by K. H. Gerstle and V. Cervenka are submitted.

Key words: Nonlinear model of reinforcement, deep beams with cracks, cyclic loading31

Rochev A. A.
THE MATH MODEL OF NON-LINEAR ELASTIC CORE SLABS AND SHELLS

Summary: We have constructed a mathematical model for implementation of deformation calculation in order to verify the strength and stability of nonlinear elastic core slabs and shells. The calculation is based on a solid core of layered anisotropic flexible shells with the use of the work equivalent rigidity characteristics, taking into account the nonlinear properties of the material and the influence of deformation lateral shift.

Key words: Core and shell plates, nonlinear elastic material, equivalent rigidity characteristics, deformation lateral shift34

BIOLOGY

Krasnov Yu. V., Shklyarevich G. A., Goryaev Yu. I.
THE KING EIDER FEEDING DURING MOLTING PERIOD IN THE SHALLOW WATERS OF THE PETCHORA SEE

Summary: Precisely 53 King Eider *Somateria spectabilis* excrements samples were collected in a marine duck molting area near Dolgy island, in south-eastern part of the Petchora Sea (south-eastern part of the Barents Sea). This samples investigation found that species diet consists of eight food groups, mainly of benthos invertebrate. Mollusks (100 %) and polychaeta (62,3 %) were the most frequently observed groups.

Key words: King Eider, food composition, mollusks, common massels *Mytilus edulis*, polychaeta, Barents Sea, oil contamination37

Gorbachev S. A., Ivanter D. E.

ECOLOGICAL AND FISHERY DESCRIPTION OF THE JANSJOKI RIVER (THE SOUTH-WEST OF THE RUSSIAN KARELIA)

Summary: The physical-geographical characteristics and the technogenic-transformed conditions of the Janisjoki lake-river system that has the transborder waterbasin on the territory of Finland and Russia are presented. The estimation of the hydropower and industrial units (melioration, pulp and paper industry, timber rafting, and municipal economy) impact level on the water natural resources is done. The potential perspectives of the fish resources development in the Janisjoki waterbasin are determined.

Key words: Lake-river system, fish resources, technogenic transformation of the water ecosystem, ecological consequences41

Korosov A. V., Hilkov T. N.

QUANTATIVE CHARACTERISTICS OF ADDER DAILY ACTIVITIES

Summary: The article presents the methods of study of adder daily activities made with the help of aktograph. The analysis of activities is based on the aktogram estimation. The aktograms give a quantity estimation of daily activities.

Key words: Daily activities, aktograph, aktogram52

MEDICINE

Zhestyanikov A. L., Dorshakova N. V., Karapetyan T. A.

NEUROCIRCULATORY DYSTONIA: THE ROLE OF MICROELEMENT DISBALANCE IN PATHOGENESIS

Summary: Eighty patients suffering from neurocirculatory dystonia (NCD) and 60 healthy inhabitants of Petrozavodsk at the age range 18-35 have been examined. Mass concentration of trace elements has been determined using the method of atomic absorption spectrometry with electro thermal atomization. The statistical processing was made with the use of programs R 1.9.1 and Statistica 6.0. The distinctions in mass concentration of trace elements between the group of patients with NCD and the control group, and also between subgroups of patients have been received. Higher concentration of cadmium ($0,00045 \pm 0,00066$ mg/l) and lead ($0,00916 \pm 0,00613$ mg/l) has been revealed in the group of patients. Besides, the deficiency of copper has been found in both groups, but more expressed in a group of patients having NCD ($0,38 \pm 0,17$ mg/l); the deficiency of iron has been discovered in the group of patients with NCD of hypertensive type ($254,36 \pm 41,61$ mg/l); low concentration of cobalt ($0,003 \pm 0,001$ mg/l) and manganese ($0,013 \pm 0,006$ mg/l) were found in the group of patients.

Key words: Neurocirculatory dystonia, iron, copper, cobalt, manganese, lead, cadmium, atomic absorption spectrometry with electro thermal atomization, the North56

Marusenko I. M.

BIOLOGICAL THERAPY FOR RHEUMATOID ARTHRITIS

Summary: The article is devoted to the problem for the treatment of rheumatoid arthritis, namely the new direction known as biological therapy. Rheumatoid arthritis is the most common and significant inflammatory disease of joints, which often leads to disablement of patients. New opportunities in modern treatment of rheumatoid arthritis have been opened with occurrence of biological agents which selectively block activity separate pro-inflammatory mediators and allow to achieve the control above disease, delay of progressing and improve the prognosis.

Key words: Abatacept, adalimumab, anakinra, anticytokine therapy, biological agents, pro-inflammatory cytokines, etanercept, infliximab, interferon, interleukins, monoclonal antibodies, rheumatoid arthritis, rituximab, tocilizumab, tumor necrosis factor- α 62

Gerasimova L. I.

INTENSIVE COLD-INDUCED VASO-CONSTRUCTION AS DONOZOLOGICAL INDICATION WHILE ADAPTING TO THE CONDITION OF THE NORTH

Summary: The health state in human living in the North is characterized by the failure of the adaptation to cold, which provokes peripheral vasoconstriction (including Raynaud's phenomenon) and increases risk and progression of diseases in human living in the North. The pathogenic mechanisms of clinical signs of disadaptation to cold are discussed.

Key words: Adaptation to cold, preclinical state, cold-associated symptoms, Raynaud's phenomenon69

AGRICULTURE

Muraviya L. N., Kraskova E. A.

METHODS OF INCREASING MILK PRODUCTION

Summary: In the article the analysis of economical efficiency of milk production in one of the largest agricultural enterprises of the Republic of Karelia named after Zaitzev is given. The marginal analysis is being considered.

Key words: Milk production, financial activity, safety loss, marginal analysis72

ENGINEERING

Bely E. K., Ioffe G. V., Krupco M. C.

A CIRCULATION MODEL OF TRANSPORTING THE RADIOHARMACEUTICAL PREPARATION IN A HUMAN BODY

Summary: In this article a mathematical model of transporting the intravenous radiopharmaceutical preparation in a human body is offered. The model could be generalized for the wider class of pharmaceutical preparations.

Key words: Radio-nuclear diagnostics; pharmaceutical preparation, circulating model77

Goldshtein Yu. B.

THE INFLUENCE OF THE NUMBER OF DOUBLE-SIDED AND UNILATERAL CONSTRAINTS ON THE CRITICAL FORCES VALUE FOR ELASTIC SYSTEMS

Summary: The influence of additionally imposed double-sided and unilateral constraints on the value of the critical forces for elastic systems with finite numbers of degrees of freedom is discussed. It is shown that imposing new constraints may destabilize a structure with unilateral constraints and leads to increasing the number of degrees of freedom of the system.

Key words: Stability, unilateral constraint, destabilization effect, critical force, elastic system80

Vasil'ev S. B., Kolesnikov G. N., Nikonova Yu. V., Rakovskaya M. I.

THE INFLUENCE OF LOCAL STIFFNESS OF DEBARKING DRUM ON VARIABILITY INTERACTION FORCES AND WOOD WASTE

Summary: The result of plywood interaction process inside debarking drum numerical simulation is under discussion. The industrial test analysis represents the discrete elements method validity in this situation. The reasons of waste increasing and ways of their elimination are also mentioned.

Key words: Mathematical modeling, mechanical system, debarking drum84

Vlasov E. N., Ivanov N. Yu., Perel'man A. Ya.

OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF GAS ELECTRIC FUSION IN PROPANE-BUTANE ENVIRONMENT FOR FOREST EQUIPMENT

Summary: On repair shops of the forest industry and a forestry it is possible to count expedient introduction of such ways of restoration as Gas Electric Fusion in propane-butane which eliminates lacks of widely widespread ways, can be introduced on the available equipment with minor alterations and does not demand expensive account materials. The economic analysis has shown economic efficiency of introduction of fusion in propane-butane on repair shops of the forest industry.

Key words: Repair, gas-electrical welding, propane-butane, planning of experiment92

PHYSICS

Luizova L. A., Piskunov A. A., Podryadchikov S. F., Soloviev A. V., Khakhaev A. D.

RESEARCHING THE STRUCTURE OF DUSTY PLASMA FORMATIONS USING SPATIAL SPECTRA

Summary: Advantages of dusty plasma structure analysis using spatial spectra received by means of Fast Fourier Transform of dusty structure image are illustrated by simulated experiments and by processing actual images of dusty structures in dc glow discharge in inert and molecular gases. It is shown that this method allows discovering hidden order in a dusty structure and that it is highly robust against noise.

Key words: Glow discharge, dusty plasma, Fourier transform, pair correlation function, spatial spectrum, hidden order96

Podgornyi V. I.

SOME RESULTS OF INVESTIGATION OF SHUNGITE AND GRAPHIC DISPERSION WITH ARC DISCHARGE

Summary: The shungite structure is showed to be modified in an inert gas atmosphere. As a result of the direct effect of the arc discharge, some portion of the shungite anode transforms into fullerene molecules in the plasma. The formation of a cathode deposit in the form of a cylinder at all the used argon pressures is observed. It is shown that the deposit may be used as a dispersing anode in the argon or helium arc for fullerene production.

Key words: Arc discharge, shungite, graphite, cathode deposit, fullerene100

SCIENTIFIC INFORMATION	107
JUBILATIONS	108
INFO FOR THE AUTHORS	112

РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ: инструмент для оценки научной деятельности и механизм продвижения научных журналов

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ И ЧИТАТЕЛИ ЖУРНАЛА «УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ ПЕТРОЗАВОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА»!

Во всем мире одним из ключевых показателей для оценки работы отдельных исследователей и научных коллективов, влияния на развитие науки, определения качества исследований служит индекс цитирования авторов и импакт-фактор журнала (как средний показатель цитируемости его авторов). Величина индекса цитирования определяется количеством ссылок на публикацию автора в других источниках. Для корректного определения значимости научных трудов важно не только количество ссылок, но и качество самих ссылок. На статью может ссылаться авторитетное издание или популярный иллюстрированный еженедельник. Значимость таких ссылок разная. Для решения проблемы определения значимости периодического издания разработан свой индекс цитирования – импакт-фактор. В индексе цитирования заинтересованы все те, кто имеет отношение к науке и образованию: 1) Ученые с помощью индекса цитирования отслеживают текущую актуальную библиографию работ по своей тематике. 2) Чиновники, учитывая индексы цитирования, принимают решение о выделении финансовой поддержки для исследовательской деятельности отдельного ученого или научного коллектива. 3) Администраторы университетов и институтов на основании показателей цитирования и объема опубликованных работ определяют размеры финансового вознаграждения своих сотрудников. 4) Издатели научной литературы, используя импакт-факторы журналов, оценивают качество изданий, их авторитет и востребованность как научного продукта.

Федеральное агентство по науке и инновациям Министерства образования и науки РФ и Научная электронная библиотека занимаются реализацией проекта «Разработка системы статистического анализа российской науки на основе данных российского индекса научного цитирования (РИНЦ)». РИНЦ – это специализированная база данных по российским научным периодическим изданиям, создаваемая на основе индексирования библиографических описаний статей, аннотаций или рефератов, а также пристатейных ссылок цитируемой литературы. База оснащена мощной поисковой системой, способной реализовать поисковые запросы различной сложности. Благодаря этому продукту можно получать точные данные по индексу цитирования авторов и импакт-факторам журналов.

**ЖУРНАЛ «УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ ПЕТРГУ» ВКЛЮЧЕН
В РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ
(РИНЦ) В ИЮЛЕ 2008 ГОДА.**