ISSN 1998-1643

Федеральное агентство по образованию

Научный журнал

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ ПЕТРОЗАВОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

(продолжение журнала 1947–1975 гг.)

№ 3 (94). Сентябрь, 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.petrsu.ru

Сохранены типографская верстка и оформление обложки журнала 1947–1975 гг.
© ГОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет (ПетрГУ)», 2008

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)

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. И. МУЛЛОНЕН
доктор филологических наук, профессор (Петрозаводск)

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)

ISSN 1998-1643

Federal Educational Agency

Scientific Journal

PROCEEDINGS OF PETROZAVODSK STATE UNIVERSITY

(following up 1947–1975)

№ 3 (94). September, 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 Addres
185910, Lenin Avenue, 33. Tel. +7 (8142) 769711
Petrozavodsk, Republic of Karelia
E-mail: uchzap@mail.ru

uchzap.petrsu.ru

The cover, proof correction, and proof page has been preserved since 1947–1975
© FEA «Petrozavodsk State University (PetrSU)», 2008

Editorial Council

V. BOLSHAKOV
Doctor of Biological Sciences,
Professor, the RAS Member (Ekaterinburg)

I. DUDANOV
Doctor of Medical Sciences, Professor,
the RAMS Corresponding Member (Petrozavodsk)

V. ZAKHAROV
Doctor of Philological Sciences,
Professor (Moscow)

A. ISAYEV
Doctor of Biological Sciences,
Professor, the RAS Member (Moscow)

N. MEL'NIKOV
Doctor of Technical Sciences,
Professor, the RAS Member (Apatiti)

V. ORPHINSKY
Doctor of Archtecture, Professor,
Full Member of Russian Academy
of Architectural Sciences (Petrozavodsk)

PAAVO PELKONEN
Doctor of Technical Sciences,
Professor (Joensuu, Finland)

I. MULLONEN
Doctor of Philological Sciences, Professor (Petrozavodsk)

I. ROMANOVSKY
Doctor of Physical-Mathematical Sciences,
Professor (St. Petersburg)

E. SENYAVSKAYA
Doctor of Historical Sciences, Professor (Moscow)

HELENA SULKALA
Doctor of Philosophy,
Professor (Oulu, Finland)

L. TIMOFEEVA
Doctor of Political Sciences, Professor (Moscow)

A. TITOV
Doctor of Biological sciences, Professor,
the RAS Corresponding Member (Petrozavodsk)

M. CHARKICH
the Leading Professor of Serbian Academy
of Sciences and Arts (Belgrade, Serbia)

R. YUSUPOV
Doctor of Technical Sciences, Professor,
the RAS Corresponding Member (St. Petersburg)

Editorial Board of the Series
«Natural & Engineering Sciences»

A. BOLGOV
Doctor of Agricultural Sciences,
Professor (Petrozavodsk)

N. NEMOVA
Doctor of Biological Sciences,
Professor (Petrozavodsk),
RAS Corresponding Member

V. PATYAKIN
Doctor of Technical Sciences,
Professor (St. Petersburg)

E. RAT'KOVA
Series Executive Secretary (Petrozavodsk)

V. SISUN
Doctor of Physical-Mathematical Sciences,
Professor (Petrozavodsk)

V. SYUNEV
Doctor of Physical-Mathematical Sciences,
Professor (Petrozavodsk)

B. SHIROKOV
Candidate of Physical-Mathematical Sciences,
Docent (Petrozavodsk)

V. SCHIPTSOV
Doctor of Geological-Mineralogical Sciences,
Professor (Petrozavodsk)

СОДЕРЖАНИЕ

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

Медведев П. П.
Архитектура Карельского Приладожья конца XIX – первой трети XX века (2-я часть) **7**

Рочев А. А.
Алгоритм расчета арочной конструкции из составных упругопластических элементов **13**

Ушакова Л. М.
Современное состояние предметно-пространственной среды участков детских дошкольных учреждений **16**

БИОЛОГИЯ

Артемьев А. В.
Популяционная экология большой синицы *Parus major* в таежных лесах Карелии (Часть 2. Продуктивность размножения и динамика популяции) **21**

Заводовский П. Г.
Афиллофороидные грибы в лесных экосистемах Водлозерья **30**

Корзунина А. А., Марковская Е. Ф.
Осмотический потенциал как фактор адаптации зостеры морской (*Zostera marina* L.) к условиям местообитания **40**

Коросов А. В., Елехова Н. С.
ГИС-проектирование экологических троп **45**

Рыжков Л. П., Дзюбук И. М.
Белое море – резерв развития аквакультуры в Карелии **53**

Якимова А. Е.
Размножение рыжей полевки (*Clethrionomys glareolus Shreb.*) в Карелии **59**

СЕЛЬСКОЕ И ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Новожилова О. В., Лери Н. А., Болгов А. Е., Макарова В. Е.
Эффективность использования шунгита в рационах бройлеров **65**

ФИЗИКА

Репникова Е. А., Лепихина Е. В.
Исследование структуры биогенных апатитов зубных тканей Европейского лося **69**

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Койбин А. В.
Продольные вибрации в двухслойном стержне при наличии между слоями сухого трения **79**

Колесников Г. Н., Кувшинов Д. А.
Численное моделирование полукоэрцитивного механического взаимодействия токоприемника и контактной сети при высокой скорости электровоза **83**

Сюнёв В. С., Коновалов А. П., Селиверстов А. А.
Сравнение эффективности технологий лесозаготовок на основе экспертного анализа **89**

Шегельман И. Р., Скрыпник В. И., Петухов Р. А.
Анализ эффективности сортиментной заготовки леса **94**

Шиловский В. Н., Саливоник А. В., Гольштейн Г. Ю.
Пути повышения эффективности зарубежной лесозаготовительной техники **104**

Научная информация **109**
Юбилей **113**
Информация для авторов **114**

Contents **115**
От редакции **118**

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

Подписано в печать 30.09.2008. Формат 60x90 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
10 уч.-изд. л. Тираж 500 экз. Изд. № 229

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

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ ПЕТРОЗАВОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Сентябрь, № 3 **Архитектура и строительство** **2008**

УДК 72.03(470.22):691.11

ПАВЕЛ ПЕТРОВИЧ МЕДВЕДЕВ
кандидат архитектуры, доцент кафедры систем автоматизированного проектирования строительного факультета ПетрГУ
pmedvedev@psu.karelia.ru

АРХИТЕКТУРА КАРЕЛЬСКОГО ПРИЛАДОЖЬЯ КОНЦА XIX – ПЕРВОЙ ТРЕТИ XX ВЕКА*

Наряду с традиционными сельскими поселениями, крестьянскими жилищно-хозяйственными комплексами и отдельно стоящими хозяйственно-производственными постройками, несомненный интерес в качестве объекта исследования представляют приладожские бани, причем не только из-за их типологической ценности, но и из-за их важной роли в деле теоретического осмысления специфики эволюции народного жилища [2], [3; 104], [11]. Всего на территории Карельского Приладожья было обследовано 11 объектов данного типа. Однако они достаточно разнообразны как по архитектурно-планировочным, так и по инженерно-конструктивным решениям (рис. 1).

Судя по результатам архитектурно-типологического анализа приладожских бань, их объемно-планировочные структуры сформировались под воздействием «горизонтальной» тенденции развития и представлены двумя основными типами. Наибольшее распространение в Приладожье имеют бани-«пятистенки», состоящие из моечно-парного помещения и предбанника (83.33 %), и только в одном случае была зафиксирована баня-«шестистенок» с внутренней продольной дощатой перегородкой, выгораживающей в пространстве предбанника дополнительное сушильно-остывочное отделение. Примерами служат бани А. П. Новожилова из поселка Реускула (рис. 5.1) и А. Г. Тулупова из деревни Леппяселькя (рис. 5.2).

Оба типа бань (особенно «пятистенки») известны практически на всем Российском Севере. Однако обращает на себя внимание отсутствие в Карельском Приладожье архаичных форм бань-«четырехстенков» – простых однокамерных построек или их усложненных вариаций в виде четырехстенных сооружений с навесами над входом и с ветрозащитными стенками, бытующих во многих других районах Карелии и на территории смежных русских областей [2], [3; 113, рис. 1], [6], [8], [11]. Видимо, начальные эволюционные этапы формирования бань в условиях Карельского Приладожья были относительно давно пройдены. Вместе с тем можно утверждать, что ранее бани-«четырехстенки» в приладожских районах все же существовали, поскольку 60 % обследованных приладожских бань-«пятистенков» имеют не рубленый, а дощатый предбанник.

Особенностью приладожских бань является также то, что все они покрыты двухскатными стропильными крышами с дощатыми фронтонами и топятся «по-черному» с помощью печей-каменок или «белых» печей из красного обожженного кирпича, устроенных в главном помещении в левом или в правом ближайшем к двери углу с ориентацией устья печи к боковой по отношению к входу стене (рис. 5). При этом следует отметить, что в других районах Карелии (осо-

© Медведев П. П., 2008

бенно в Беломорском Поморье) бытует множество иных объемно-планировочных решений [2; 12], [3; 112–122].

Однако внешняя простота приладожских бань обманчива. Во-первых, несмотря на наличие общей «продольной» (по отношению к коньку крыши) тенденции развития плана, наружный вход в баню в равной мере располагается как в торцевой, так и в боковой продольной стене предбанника. Во-вторых, при общности устройства стен главного моечно-парного помещения бань в виде сруба из отесанных с двух сторон бревен наблюдаются различные приемы рубки углов. В частности, практически в равном количественном соотношении зафиксированы такие конструктивные приемы, как рубка углов «в охряпку» («в собачью шею»), «в прямоугольную лапу» или «в ласточкин хвост с открытым зубом».

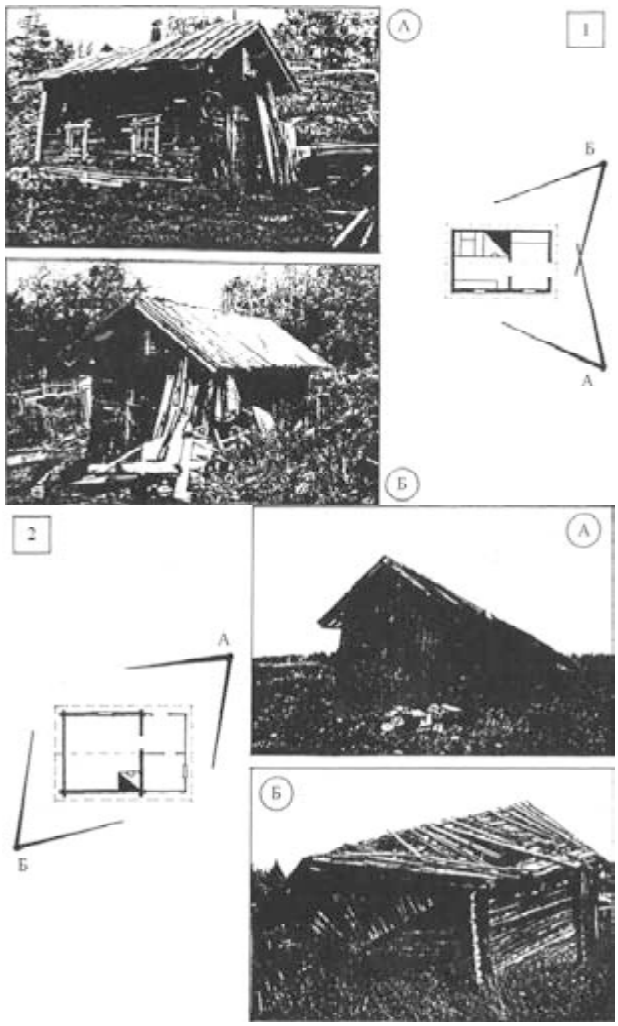


Рис. 5. Бани Карельского Приладожья:

1 – баня А. П. Новожилова, п. Реускула, Лахденпохский р-н;
2 – баня А. Г. Тулупова, д. Леппяселькя,
территория г. Сортавала

В свою очередь, на фоне общего приема топки бань «по-черному» прослеживаются существенные различия в конкретных способах дымоудаления. Наряду с наиболее широко распространенным вариантом удаления дыма через потолочный дымоволок и устроенную над ним прямоугольную дощатую дымницу (66.67 %), в приладожских банях встречаются варианты стенного дымоволока (16.67 %), а также комбинированный вариант сочетания упомянутых приемов (16.67 %).

В этой связи интересно отметить, что, по данным, собранным архитектором В. П. Орфинским в процессе изучения бань Карелии и смежных русских областей, для финно-угорских народов более характерны потолочный дымоволок и круглая дымница, а для русского населения – стенной дымоволок и прямоугольная дымница. В местах же тесных межэтнических контактов и на территориях, где было сильно влияние традиции финноязычных аборигенов, у русского населения Севера наблюдались смешанные приемы дымоудаления [13; 248–249]. Подобный результат (правда, с противоположным знаком), вероятно, имел место и в Карельском Приладожье.

В отличие от хозяйственно-бытовых и хозяйственно-производственных построек, специфические черты которых прослеживаются лишь по отдельным типологическим признакам или в их сложных сочетаниях-комбинациях, явно своеобразным внешним обликом обладают жилые дома Карельского Приладожья. При проведении анализа 133 жилых построек в орбиту исследования оказались вовлеченными их следующие архитектурно-типологические характеристики: 1) особенности внешней и внутренней вертикальной планировки жилища в целом и его отдельных структурно-функциональных частей; 2) вариативность внутренней архитектурно-планировочной структуры жилых домов в целом и особенности внутренней структурно-функциональной организации их отдельных жилых частей; 3) особенности композиционно-пространственной и объемно-планировочной организации коммуникационных зон и дополнительных жилых пристроек; 4) вариативность форм покрытий жилых домов [5], [10], [12].

Характеризуя общие эволюционно-генетические принципы развития традиционного жилища Карельского Приладожья, связанные с постепенным «вырастанием» жилых построек из земли (от землянок и полуземлянок к наземным и надземным жилым постройкам), можно констатировать, что по данному признаку все обследованные объекты оказались отнесенными к классу наземных построек («К1») и стратифицировались на два варианта – поземные («К1/2» – 7.52 %) и надземные на подклете (цоколе) («К1/2» – 92.48 %) сооружения. Относительно высокий процент поземного жилища можно рассматривать в качестве отличительной черты приладожской территории в сравнении, к примеру, с субрегионами Беломорского

Поморья, Архангельского Поонежья или Архангельского Примошья [1; 22], [4], [7], [9; 40].

Далее, при анализе этажности приладожских жилых построек они дифференцировались на группы одноэтажных («Г1» – 96.99 %) и двухэтажных («Г2» – 3.01 %) сооружений при отсутствии жилищ смешанной этажности («Г3»), широко распространенных, к примеру, в восточных районах с русским, карельским и вепсским населением. Сопоставление полученного вариационного ряда с данными по соседним с Карельским Приладожьем субрегионам свидетельствует об относительно менее высокой степени «развития по вертикали» приладожских жилищ в отличие, к примеру, от жилья Беломорского Поморья, Восточного Обонежья, Архангельского Поонежья или Архангельского Примошья [1; 22–23, табл. 6], [4; 224, табл. 66], [7], [14; 31, табл. 2].

Вместе с тем обращает на себя внимание факт широкого распространения на приладожской территории жилищ с функционально используемым чердачным пространством – с устройством нежилых и жилых помещений под крышей (соответственно 17.74 и 33.87 %). Это еще одна особенность приладожской территории в отличие от соседних историко-архитектурных субрегионов.

В свою очередь, при анализе такого важного типологического признака, как «частность жилища», все обследованные приладожские жилые постройки удалось дифференцировать на четыре типа. Наиболее широко распространенным в Приладожье оказалось полуторачастное (двухчастное неразвитое) жилище («Т2» – 87.97 %). Примерно одну десятую часть составили двухчастные развитые жилища («Т3» – 9.02 %), состоящие из двух структурно-функциональных блоков-частей, разделенных сенями. Наконец, менее трех процентов составили многочастные жилища с несколькими автономными структурно-функциональными частями, имеющими собственные автономные сени («Т4–Т6» – 3.01 %). Аналогичные показатели свойственны и смежным субрегионам [1; 23, табл. 6], [4], таким образом, тенденция увеличения частности жилища, видимо, не имеет явно выраженных региональных и этнических особенностей.

Характеризуя плановую структуру приладожского жилища, можно сказать, что жилье с продольным относительно конька своей кровли развитием составило немногим более одной трети («Т/1» – 30.83 %) на фоне относительно большого количества жилищ с поперечным развитием («Т/2» – 19.55 %) и при явном господстве жилья с развитием в двух взаимноперпендикулярных направлениях («Т/3» – 48.12 %). В свою очередь, если в жилых домах соседних субрегионов входы в жилища, как правило, боковые относительно конька крыши и лицевой стороны дома, то на территории Карельского Приладожья наблюдается несколько иная картина. При относительном господстве данного подварианта («Т(2)» – 70.99 %) одну четверть всех домов составили постройки с торцевым относительно конька крыши входом («Т(1)» – 24.43 %) при значительной доле жилищ с неориентированными («Т(3)») и разнонаправленными («Т(4)») входами (соответственно 0.76 и 3.82 %), что лишний раз подтверждает наличие региональных особенностей в организации традиционного крестьянского жилища в условиях Карельского Приладожья.

Уточняя специфику приладожского жилища, следует сказать о том, что по конфигурации плана оно дифференцируется на четыре варианта: прямоугольное, «Г»-, «Т»- и «П»-образное (соответственно 42.5, 30, 20 и 7.5 %). Если сослаться вновь на упоминавшийся выше детально обследованный бассейн реки Онеги, то два последних варианта можно рассматривать как специфические и бытующие только на приладожской территории. В данном случае также интересно отметить, что варианты «Г»- и «Т»-образного в плане жилища на Онеге связываются с «чудским» (финно-угорским) аборигенным населением, ассимилированным новгородскими переселенцами, и во многом схожи по общему объемно-планировочному решению со старыми постройками вепсов и карел, планы которых опубликованы, к примеру, в работе этнографа З. И. Етоевой-Строгальщиковой [14; 32, 34, 45, 63–64, 90, прим. 13].

Наличие относительно большого количества жилых домов с поперечным и смешанным развитием, с торцевыми и разнонаправленными входами и жилищ, имеющих сложную форму плана, является важной отличительной особенностью территории Карельского Приладожья в сравнении с соседними историко-архитектурными субрегионами [1; 23–24], [4], [7]. Причиной подобного разнообразия планировочных решений, очевидно, служил факт отсутствия на приладожской территории домов-комплексов, композиционно-планировочное развитие жилых частей которых было затруднено наличием у них структурно-функциональных связей с хозяйственно-производственными частями, в качестве которых выступали сблокированные с жилищем одноэтажные и двухэтажные дворы-сеновалы.

Для более детальной характеристики как одночастного, так и многочастного жилища несомненный интерес представляют результаты анализа структурно-функциональной организации их отдельных частей – блоков из жилых помещений. Исследование приладожских жилых домов по данному типологическому признаку свидетельствует о явном господстве жилищ, представленных в виде единого конструктивно-целостного сруба или остова («ПТ1» – 99.27 %) и дифференцирующихся, в свою очередь, на четыре варианта.

Наиболее типичными для территории Карельского Приладожья являются жилища-«шестистенки» («ПТ1/3» – 46.32 %), подобные жилому дому В. С. Кашириной из поселка Рауталахти (рис. 6.2). Незначительно уступают им жилища-«пятистенки», составляющие более одной трети всех обследованных построек («ПТ1/2» – 30.88 %), при относительно малом количестве

жилищ-«четырехстенков» («ПТ1/1») и довольно большом числе жилищ-«многостенков», подобных жилому дому А. А. Сибирякова из поселка Реускула («ПТ1/4») (соответственно 13.97 и 8.82 %) (рис. 6.1). Полученное распределение свидетельствует о существенном отличии приладожского жилища от жилья на территории смежных историко-архитектурных субрегионов Российского Севера [1; 24–25], [4], [7].

Детализируя особенности планировочного устройства «пятистенков», можно сказать, что они в процессе анализа разделились на два варианта – «пятистенки» с продольной («ПТ2/1») и с поперечной («ПТ2/2») относительно конька крыши внутренней стеной, составляющие соответственно 10.26 и 89.74 %. Эти варианты могут рассматриваться в качестве промежуточного эволюционного звена на пути развития жилища от «четырехстенков» к «шестистенкам» в продольном и поперечном направлениях по отношению к коньку крыши (рис. 7). А в качестве заключительного этапа этого достаточно протяженного во времени эволюционного процесса можно рассматривать «шестистенки», дифференцирующиеся уже на семь вариантов.

В их числе «шестистенки» с двумя поперечными внутренними стенами («ПТ1/3(2)» – 9.52 %), полные «шестистенки-крестовики» («ПТ1/3(3)» – 12.7 %), «шестистенки-крестовики» без углового внутреннего отсека, занятого сенями («ПТ1/3(4)» – 28,57 %), без продольной внутренней стены в отсеке, удаленном от сеней («ПТ1/3(5)» – 20.63 %), без продольной внутренней стены в ближнем к сеням отсеке («ПТ1/3(6)» – 25.97 %), без поперечной стены в одном из боковых отсеков («ПТ1/3(7)» – 1.59 %) и, наконец, «шестистенки» без углового внешнего отсека («ПТ1/3(8)» – 3.17 %).

Достаточно широкое распространение усложненных подтипов жилища вполне закономерно, поскольку, по данным историка А. С. Жеребцова, «пятистенки» получили распространение в Приладожье относительно рано, во всяком случае, до середины XVII века – времени окончательного переселения карел в Поволжье [13; 101].

При наличии фактически всех известных на Российском Севере вариантов планировки жилища приладожские жилые дома отличаются большим числом сложных вариантов «шестистенков» и многостенков несвойственной для традицион-

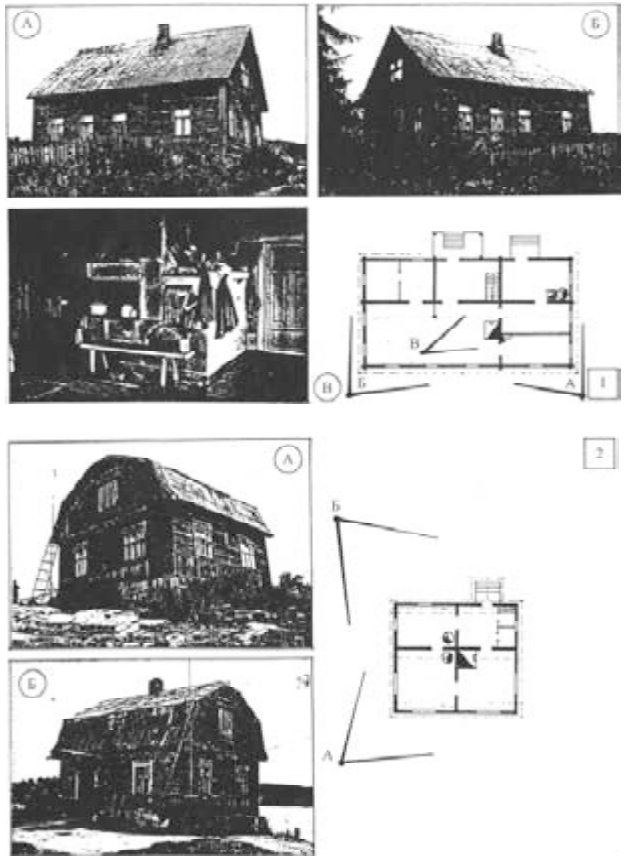


Рис. 6. Жилые дома Карельского Приладожья:

1 – дом А. А. Сибирякова, п. Реускула, Лахденпохский р-н;
2 – дом В. С. Кашириной, п. Рауталахти, территория г. Сортавала

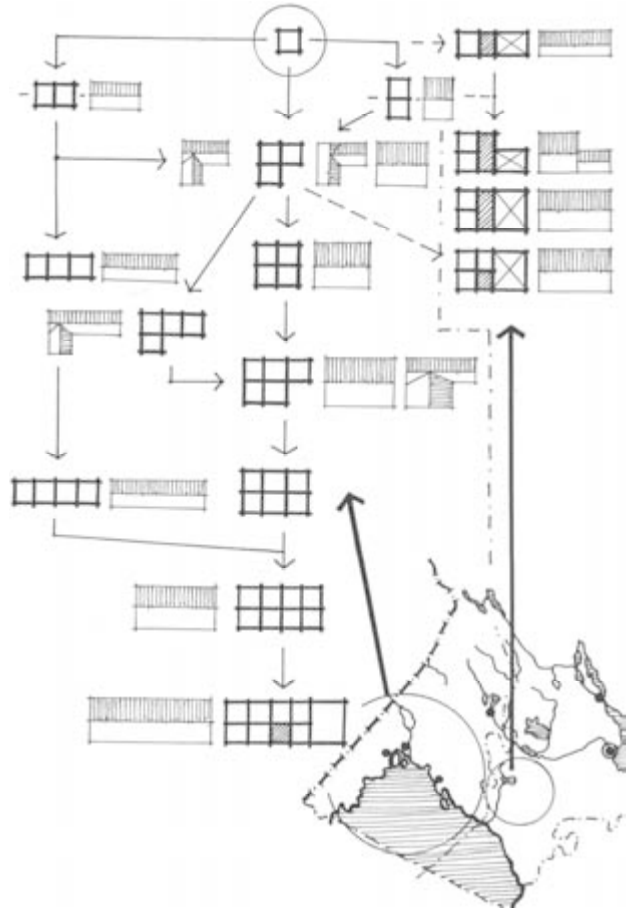


Рис. 7. Варианты планировки крестьянского жилища Карельского Приладожья и смежных территорий на период конца XIX – первой трети XX века

ных русских, карельских и вепсских жилищ конфигурации. Широкому распространению усложненных типов жилища, очевидно, способствовала высокая плотность расселения на территории Карельского Приладожья, содействовавшая активному влиянию на процесс развития жилища в сельской местности традиций городской профессиональной архитектуры. Подтверждением подобной гипотезы могут служить примеры планировок жилых домов г. Сортавала, детально проанализированных в диссертационном исследовании финского архитектора Мартти Ятинена [15; 162–168, 217–237].

Непременным составным элементом развитых жилищ является коммуникационная зона, по структурной организации которой приладожские жилища разделяются на три вида: без коммуникационных помещений («В1» – 0.74 %); с сенями («В2» – 98.52 %) и со сложными коммуникационными системами, состоящими из сеней и коридоров («В5» – 0.74 %). А из жилых домов, имеющих коммуникационные помещения, наиболее типичными являются жилища с сенями, примыкающими к структурно-функциональным частям («В/1» – 58.82 %). По относительному количеству им лишь незначительно уступают жилища второго варианта – с сенями, вписанными в структурно-функциональные части («В/2» – 39.71 %).

Наличие обоих упомянутых вариантов позволяет предположить возможность существования двух эволюционных тенденций в развитии приладожского жилища – переход от одночастного к полуторачастному жилью, как путем пристройки сеней, так и путем их выделения в пространстве жилых помещений сначала с помощью жердевых или тесовых перегородок, а затем уже капитальных срубных и каркасно-засыпных стен.

В свою очередь, исследование особенностей композиционно-пространственной и объемно-планировочной организации дополнительных жилых пристроек, зафиксированных в 9 из 132 обследованных домов («ПВ2» – 6.82 %), позволяет наметить ряд промежуточных эволюционных этапов в процессе формирования приладожского жилища, как в направлении увеличения частности жилища, так и в тенденциях к продольному и поперечному развитию планировочной структуры отдельных жилых частей, позволяя развить и детализировать общую эволюционную картину развития традиционного крестьянского жилища Карельского Приладожья в конце XIX – первой трети XX века, представленную в виде гипотетической схемы на рис. 8.

Характеристика традиционного жилища Приладожья будет явно неполной без упоминания о результатах анализа форм покрытий над жилыми домами. Полученное автором вариационное распределение свидетельствует о довольно большом числе построек, имеющих самостоятельные крыши над жилыми частями и сенями («Р1» – 44,59 %). Однако постройки этой разновидности, хотя и незначительно, но уступают по численности домам, имеющим общее покрытие («Р3» – 48.65 %), что говорит о достаточно высоком уровне развития объемно-планировочной структуры приладожского жилища и о том, что фаза простой механической блокировки отдельных структурно-функциональных частей жилых домов была относительно давно пройдена.

Рис. 8. Гипотетическая схема эволюции крестьянского жилища Карельского Приладожья на период конца XIX – первой трети XX века

Вместе с тем наличие на обследованной территории домов первой разновидности («Р1») с механически пристыкованными («Р1/2») и врезанными друг в друга («Р1/4») крышами, имеющими преимущественно взаимноперпендикулярные коньки («Р1(3)»), в сочетании с данными о развитии форм покрытий на архаичных жилищах финно-угорских народов Севера [14; 32, 34, 45, 63] позволяет высказать гипотезу о традиционализме аборигенного (финско-карельского) населения Карельского Приладожья, отразившемся в его стремлении к сохранению и творческой переработке архаичных форм покрытий (рис. 8).

Подводя итоги проведенного исследования, можно с уверенностью утверждать, что Карельское

Приладожье является специфическим историко-архитектурным субрегионом Российского Севера, народное зодчество которого сформировалось под влиянием сложного комплекса своеобразных природно-климатических, исторических, социально-экономических и этнокультурных факторов.

В заключение автор выражает искреннюю благодарность Российскому гуманитарному научному фонду за финансовую поддержку научно-исследовательской работы специалистов кафедры САПР ПетрГУ в области изучения отечественного историко-культурного наследия (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»).

* *Окончание статьи*, начало в журнале «Ученые записки Петрозаводского государственного университета». Июнь, 2008. № 2(92). С. 7–14.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Медведев П. П. Архитектура крестьянского жилого комплекса в бассейне реки Онеги (опыт ареального исследования) // Проблемы исследования, реставрации и использования архитектурного наследия Российского Севера: Межвуз. сб. Петрозаводск: Изд-во ПГУ, 1985. С. 7–31.
2. Медведев П. П. Бани Беломорского Поморья конца XIX – первой половины XX веков (предметно-содержательный и разведочный анализы). Петрозаводск, 1998. 34 с.; Деп. в ВНИИНТПИ 27.05.98, № 11708.
3. Медведев П. П. Бани на территории Онежского бассейна (ареальные исследования) // Народное зодчество: Сб. науч. тр. Петрозаводск, 1992. С. 104–123.
4. Медведев П. П. Деревянное гражданское зодчество Беломорского Поморья (опыт системного анализа с применением ЭВМ): Дис. … канд. архитектуры. Т. 2 (Приложения). Петрозаводск: Изд-во ПГУ, 1985. 311 с.
5. Медведев П. П. Иерархический анализ крестьянских усадеб и жилых домов Карельского Приладожья конца XIX – первой трети XX веков (ареальные исследования народного зодчества на территории Республики Карелия) / Петрозаводский гос. ун-т. Петрозаводск, 2000. 39 с., рис. 12. Деп. в ВНИИНТПИ 17.06.2000, № 17777.
6. Медведев П. П. Иерархический анализ объемно-планировочных структур бань Архангельского Примошья конца XIX – первой половины XX веков / Петрозаводский гос. ун-т. Петрозаводск, 1998. 46 с.; Деп. в ВНИИНТПИ 21.06.99, № 11745.
7. Медведев П. П. Инвентаризация деревянного зодчества Няндомского района Архангельской области (краткие итоги полевого сезона 1991 г.) / Петрозаводский гос. ун-т. Петрозаводск, 1995. 65 с., рис. 32. Деп. в НИО «Информкультура» 18.11.95, № 2919.
8. Медведев П. П. Крестьянские усадьбы Беломорского Поморья (конец XIX – начало XX вв.) // Проблемы исследования, реставрации и использования архитектурного наследия Карелии и сопредельных областей: Межвуз. сб. Петрозаводск, 1986. С. 17–30.
9. Медведев П. П. Типология крестьянского жилья Беломорского Поморья второй половины XIX – первой трети XX веков // Проблемы исследования, реставрации и использования архитектурного наследия Карелии и сопредельных областей: Межвуз. сб. Петрозаводск, 1985. С. 36–47.
10. Медведев П. П., Девятникова Л. А. Морфология традиционного крестьянского жилища Карельского Приладожья конца 19 – первой половины 20 веков (ареальные исследования народного зодчества на территории Республики Карелия) // Реконструкция – Санкт-Петербург-2005. Международная науч.-практ. конф.: Сб. докл. Ч. I. СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2005. С. 28–31.
11. Медведев П. П., Дьяконова О. В. Традиционные крестьянские бани Архангельского Примошья, Каргополья и Архангельского Поонежья (предметно-содержательный и математико-модельный анализы) // Реконструкция – Санкт-Петербург-2005. Международная науч.-практ. конф.: Сб. докл. Ч. I. СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2005. С. 31–34.
12. Медведев П. П., Козлова Т. Д., Ратькова Е. И. Традиционное крестьянское жилище Карельского Приладожья (ареальные исследования народного зодчества на территории Республики Карелия) / Петрозаводский гос. ун-т. Петрозаводск, 2004. 11 с. Деп. в ВНИИНТПИ 07.06.04, № 11945.
13. Орфинский В. П. Деревянное зодчество Карелии: генезис, эволюция, национальные особенности: Дис. … доктора архитектуры Т. 1. М.: ЦНИИТИА, 1976. 298, 55 с.
14. Строгальщикова З. И. Традиционное жилище Межозерья (1900–1960) (Опыт сравнительно-статистического анализа). Л.: Наука, 1986. 108 с.
15. Jaatinen M. I. Sortavalan rakentaminen 1643–1944. Espoo: Yhdyskunta-suunnittelun taydennyskoulutuskeskus. Teknillinen korkeakoulu, 1997. 248 s.

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ ПЕТРОЗАВОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Сентябрь, № 3 **Архитектура и строительство** **2008**

УДК 624.072.33.041.2

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

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА АРОЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ ИЗ СОСТАВНЫХ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Разработан алгоритм расчета, позволяющий выполнить деформационный расчет и проверить устойчивость арочной конструкции из составных элементов при работе материала за пределом упругости. Расчет арки осуществляется с использованием эквивалентной жесткости поперечного сечения, учитывающей влияние деформаций сдвига. Алгоритм расчета учитывает нелинейные геометрические и физические эффекты, возникающие в арке при работе под нагрузкой.

Ключевые слова: арочная конструкция, эквивалентная жесткость поперечного сечения, деформационный расчет, составной упругопластический элемент

В работе излагается порядок расчета составной двухшарнирной упругопластической пологой арки, ось которой имеет круговое очертание. Арка имеет переменное сечение по длине. Пояса арки соединены между собой структурными связями (раскосами, распорками, планками, перфорированным листом). В работе используется приближенное выражение для кривизны изогнутой оси. Для материала арки устанавливается произвольная зависимость между деформациями и напряжением. Учет влияния деформаций сдвига осуществляется способом, предложенным Ф. Энгессером и С. П. Тимошенко [6; 133]. Не учитывается влияние касательных напряжений на развитие пластических деформаций. Геометрическая неизменяемость поперечного сечения составной арки обеспечивается постановкой поперечных диафрагм жесткости.

В основе предлагаемого решения лежит использование известного дифференциального уравнения изгиба упругой пологой арки, имеющей бесконечную жесткость на сдвиг,

$$\frac{d^2}{dx^2}\left(EJ(x)\frac{d^2v(x)}{dx^2}\right)+N(x)\left(\frac{d^2v(x)}{dx^2}+\frac{1}{R_o}\right)-q(x)=0\,, \quad (1)$$

где $EJ(x)$ – изгибная жесткость поперечного сечения арки, изменяющаяся по ее длине; $v(x)$ – перемещение точек оси арки в радиальном направлении; $N(x)$ – продольная сила, действующая в сечениях арки; R_o – радиус кривизны оси недеформированной арки; $q(x)$ – неравномерно распределенная нагрузка, действующая на арку в ее плоскости в радиальном направлении.

Для решения уравнения (1) используется метод конечных разностей и шаговое нагружение конструкции [1]. Проекция оси арки на ось ординат x делится на m равных частей длиной s. Для j-й узловой точки на оси арки уравнение (1)

© Рочев А. А., 2008

на i-м шаге нагружения примет вид уравнения в конечных разностях

$$B_{xj}^{экв(i)}\frac{\Delta^4 v_j^{(i)}}{s^4}+N_j^{(i)}\left(\frac{\Delta^2 v_j^{(i)}}{s^2}+\frac{1}{R_o}\right)-q_j^{(i)}=0\,, \qquad (2)$$

где $\Delta^2 v_j^{(i)}$ и $\Delta^4 v_j^{(i)}$ – конечные разности соответственно второго и четвертого порядков на i-м шаге нагружения; $q_j^{(i)}$ – равномерно распределенная нагрузка на j-м участке арки во время i-го шага нагружения; $B_{xj}^{экв(i)}$ – эквивалентная жесткость поперечного сечения арки, учитывающая влияние сдвиговых деформаций, равная для i-го шага нагружения

$$B_{xj}^{экв(i)}=\frac{M_{xj}^{(i-1)}}{(\Delta\varepsilon_j^{(i-1)}/h_j-\gamma_{1yj}^{(i-1)}Q'^{(i-1)}_{yj})}\,. \qquad (3)$$

Формула (3) была получена и опубликована нами ранее [4]. В этой формуле: $M_{xj}^{(i-1)}$ – изгибающий момент в j-м сечении арки, возникающий при $(i-1)$-м шаге нагружения; $\Delta\varepsilon_j^{(i-1)}$ – разность краевых линейных относительных деформаций в j-м сечении арки при $(i-1)$-м шаге нагружения; h_j – высота j-го поперечного сечения арки; $\gamma_{1yj}^{(i-1)}$ – угол сдвига соединительной решетки составной арки от единичной поперечной силы для j-го участка арки при $(i-1)$-м шаге нагружения; $Q'^{(i-1)}_{yj}$ – значение первой производной от поперечной силы, действующей в j-м сечении арки при $(i-1)$-м шаге нагружения.

При известной функциональной зависимости между напряжениями и деформациями $\sigma=f(\varepsilon)$ для материала стержневого элемента краевые продольные относительные деформации в j-м сечении элемента при $(i-1)$-м нагружении являются функциями усилий

$$\varepsilon_{1j}^{(i-1)}=\varepsilon_{1j}^{(i-1)}(M_{xj}^{вн(i-1)},P_j^{вн(i-1)})\,, \qquad (4)$$

$$\varepsilon_{2j}^{(i-1)}=\varepsilon_{2j}^{(i-1)}(M_{xj}^{вн(i-1)},P_j^{вн(i-1)})\,, \qquad (5)$$

где $M_{xj}^{вн(i-1)}$ – главный момент эпюры нормальных напряжений относительно центра тяжести j-го поперечного сечения, возникающий при $(i-1)$-м нагружении арки; $P_j^{вн(i-1)}$ – главный вектор эпюры нормальных напряжений в этом сечении при $(i-1)$-м нагружении арки.

Краевые деформации $\varepsilon_{1j}^{(i-1)}$ и $\varepsilon_{2j}^{(i-1)}$ определяются из решения системы уравнений равновесия

$$\begin{aligned} &M_{xj}^{вн(i-1)}(\varepsilon_{1j}^{(i-1)},\varepsilon_{1j}^{(i-1)})=M_{xj}^{(i-1)}\,,\\ &P_j^{вн(i-1)}(\varepsilon_{1j}^{(i-1)},\varepsilon_{1j}^{(i-1)})=N_j^{(i-1)}\,, \end{aligned} \qquad (6)$$

где $N_j^{(i-1)}$ – продольная сила, действующая в j-м поперечном сечении арки, возникающая при $(i-1)$-м нагружении.

Для упрощения решения системы нелинейных алгебраических уравнений (6) j-е поперечное сечение арки разбивается по высоте на n участков одинаковой ширины. Принимая во внимание относительные деформации на границах k-го участка разбиения $\varepsilon_{jk1}^{(i-1)}$ и $\varepsilon_{jk2}^{(i-1)}$, вместо (6) в расчете используется система уравнений

$$\begin{aligned} &\sum_{k=0}^{n}\overline{M}_{jk}^{(i-1)}(\varepsilon_{jk1}^{(i-1)},\varepsilon_{jk2}^{(i-1)})-M_j^{(i-1)}=0\,,\\ &\sum_{k=0}^{n}\overline{P}_{jk}^{(i-1)}(\varepsilon_{jk1}^{(i-1)},\varepsilon_{jk2}^{(i-1)})-N_j^{(i-1)}=0\,, \end{aligned} \qquad (7)$$

где $\overline{M}_{jk}^{(i-1)}$ и $\overline{P}_{jk}^{(i-1)}$ – коэффициенты, зависящие от формы, размеров поперечного сечения арки, от интервала разбиения и стадии напряженно-деформированного состояния в j-м сечении при $(i-1)$-м нагружении арки;

$$\varepsilon_{jk1}^{(i-1)}=a_{jk1}^{(i-1)}\varepsilon_{j1}^{(i-1)}+b_{jk1}^{(i-1)}\varepsilon_{j2}^{(i-1)}\,; \qquad (8)$$

$$\varepsilon_{jk2}^{(i-1)}=a_{jk2}^{(i-1)}\varepsilon_{j1}^{(i-1)}+b_{jk2}^{(i-1)}\varepsilon_{j2}^{(i-1)}\,; \qquad (9)$$

здесь $a_{jk1}^{(i-1)}$, $a_{jk2}^{(i-1)}$, $b_{jk1}^{(i-1)}$, $b_{jk2}^{(i-1)}$ – коэффициенты, учитывающие линейное распределение деформаций по высоте поперечного сечения.

При известных величинах $M_{xj}^{(i-1)}$ и $P_j^{(i-1)}$ с помощью формул (4)–(9) в j-м поперечном сечении находятся относительные деформации $\varepsilon_{1j}^{(i-1)}$ и $\varepsilon_{2j}^{(i-1)}$ и по (3) определяется величина $B_{xj}^{экв(i)}$.

Формула (2) в неизвестных перемещениях узловых точек примет вид

$$\begin{aligned} &B_{экв,j}^{(i)}\frac{1}{s^4}\left(v_{j-2}^{(i)}-4v_{j-1}^{(i)}+6v_j^{(i)}-4v_{j+1}^{(i)}+v_{j+2}^{(i)}\right)+\\ &+N_j^{(i)}\left[\frac{1}{s^2}\left(v_{j-1}^{(i)}-2v_j^{(i)}+v_{j+1}^{(i)}\right)+\frac{1}{R_o}\right]-q_j^{(i)}=0\,. \end{aligned} \qquad (10)$$

Продольная сила в j-м сечении арки, используемая при расчете на i-м шаге нагружения, определяется по формуле, полученной в работе [2],

$$N_j^{(i)}=\overline{N}_C{}^{(i-1)}-\frac{B_{экв,j}^{(i-1)}}{2}\left[\left(v_j''^{(i-1)}\right)^2-\frac{1}{R_o^2}\right], \qquad (11)$$

где $\overline{N}_C{}^{(i-1)}$ – продольная сила, возникающая в точке перегиба после $(i-1)$-го шага нагружения;

$$v_j''^{(i-1)} = \Delta^2 v_j^{(i-1)} / s^2 = \left(v_{j-1}^{(i-1)} - 2v_j^{(i-1)} + v_{j+1}^{(i-1)}\right) / s^2.$$

Ордината j-го узла деформированной оси арки $y_j^{(i-1)}$ в системе координат $y - x$ определится по формуле

$$y_j^{(i-1)} = y_{Ro,j} - v_j^{(i-1)}, \qquad (12)$$

где $y_{Ro,j}$ – ордината j-го узла недеформированной оси арки.

Зная $y_j^{(i-1)}$, построим алгебраический интерполяционный многочлен Лагранжа m-го порядка

$$L_m^{(i-1)}(x) = \sum_{j=0}^{m} l_j(x) y_j^{(i-1)}, \qquad (13)$$

где $l_j(x)$ – коэффициенты полинома Лагранжа [3].

Абсцисса $x_C^{(i-1)}$ точки перегиба C деформированной оси арки определяется из решения уравнения

$$\left[L_m^{(i-1)}(x)\right]'' = 0. \qquad (14)$$

Зная напряженно-деформированное состояние арки при $(i-1)$ нагружении и $x_C^{(i-1)}$, величина $\bar{N}_C^{(i-1)}$ определяется из решения системы уравнений равновесия части арки, отделенной поперечным сечением, проходящим через точку оси арки C.

С учетом вышеизложенного, принимая во внимание формулы (2)–(14), решается задача деформационного расчета нелинейной составной пологой арки переменного сечения.

В процессе описанного расчета на каждом i-м этапе нагружения проверяется устойчивость арки в своей плоскости методом, изложенным в [5]. Для рассматриваемой арки составляется и варьируется система уравнений равновесия в сечениях арки

$$\left[1 + (y_j')^2\right]^{-3/2} \{\left[H + (V_o - G_j^q) y_j\right] y_j' \delta y_j' - \\ - \left[1 + (y_j')^2\right]^{-2} \cdot \left[\delta H + (V_o - G_j^q) \delta y'\right]\} + \delta P_j^{вн} = 0; \qquad (15)$$

$$H \delta y_j + \delta H y_j + \delta M_{xj}^{вн} = 0,$$

где H – распор; V_o – вертикальная реакция на левой опоре арки; G_j^q – главный вектор внешней нагрузки, приложенной к левой части арки, отделенной j-м сечением;

$$\delta M_{xj}^{вн} = \frac{\partial M_{xj}^{вн}}{\partial \varepsilon_{1j}} \delta \varepsilon_{1j} + \frac{\partial M_{xj}^{вн}}{\partial \varepsilon_{2j}} \delta \varepsilon_{2j}, \qquad (16)$$

$$\delta P_j^{вн} = \frac{\partial P_j^{вн}}{\partial \varepsilon_{1j}} \delta \varepsilon_{1j} + \frac{\partial P_j^{вн}}{\partial \varepsilon_{2j}} \delta \varepsilon_{2j}. \qquad (17)$$

В определитель системы (15), составленный из коэффициентов при вариациях независимых переменных, подставляются параметры напряженно-деформированного состояния, полученные из деформационного расчета арки. В случае равенства нулю указанного определителя или смены знака его численного значения регистрируется величина критической нагрузки. Если устойчивость арки обеспечена, производится перерасчет величины $B_{xj}^{экв(i)}$ для следующего этапа нагружения арки и повторяется вновь ее деформационный расчет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биргер И. А. Общие алгоритмы решения задач теории упругости, пластичности и ползучести // Успехи механики деформируемых сред. М.: Наука, 1975. С. 61–73.
2. Дривинг А. Я. К теории расчета круговых арок с учетом осевых деформаций // Металлические конструкции и испытания сооружений: Межвузовский тематический сборник трудов. Л.: ЛИСИ, 1979. С. 50–60.
3. Мысовских И. П. Лекции по методам вычислений: Учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп. СПб: Изд-во СПбГУ, 1998. 472 с.
4. Рочев А. А. Исследование несущей способности сквозных упругопластических статически неопределимых рам переменного сечения // Труды молодых ученых: В 3 ч. Часть 3. СПб.: СПбГАСУ, 2000. С. 187–192.
5. Санжаровский Р. С. Устойчивость элементов строительных конструкций при ползучести. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. 280 с.
6. Тимошенко С. П. Устойчивость упругих систем. М.; Л.: ОГИЗ – Гостехиздат, 1946. С. 133.

Сентябрь, № 3 **Архитектура и строительство** **2008**

УДК 711.57

ЛЮДМИЛА МИХАЙЛОВНА УШАКОВА
кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектуры, строительных конструкций и геотехники строительного факультета ПетрГУ
lyudmila.ush@onego.ru

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРЕДМЕТНО-ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СРЕДЫ УЧАСТКОВ ДЕТСКИХ ДОШКОЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

В статье анализируется современное состояние предметно-пространственной организации участков детских дошкольных учреждений (ДДУ). Определены требования к планировочному решению территории, взаимосвязи функциональных элементов участка, формированию игровых площадок, игровому оборудованию.

Ключевые слова: участок ДДУ, предметно-пространственная среда, тематические и специализированные площадки, игровое оборудование

В данной статье автор обращает внимание на проблему организации предметно-пространственной среды участков детских дошкольных учреждений, формирование которой на должном уровне обеспечивает наилучшие условия для всестороннего развития детей дошкольного возраста и целенаправленного педагогического процесса. Воспитательное воздействие среды, окружающей ребенка на участке ДДУ, определяется всеми входящими в нее компонентами – собственно участок, его планировочное решение, взаимосвязь функциональных элементов участка, ландшафт, игровое оборудование и благоустройство.

Несмотря на то, что в последние десятилетия в нашей стране многое изменилось в лучшую сторону в различных сферах жизни людей, в организации участков ДДУ практически не произошло никаких изменений. Все те же убогие теневые навесы, которые практически не используются во время прогулок, то же устаревшее игровое оборудование из дерева или бетона, та же не организованная для игр, физического развития и обучения территория. Постоянное недофинансирование дошкольных учреждений привело к тому, что на участках используется в основном «доперестроечное» игровое и спортивное оборудование, которое из года в год ремонтируется и красится. В век современных технологий, компьютеров, информации участки ДДУ производят унылое впечатление. Их предметно-пространственная организация никак не способствует процессам оздоровления, обучения и воспитания подрастающего поколения – будущего России.

В основе планировочной организации участков ДДУ лежит принцип групповой изоляции, который предопределяет создание на участке отдельных групповых площадок для детей всех возрастных групп. При этом, согласно санитарно-гигиеническим требованиям к ДДУ, каждая групповая площадка должна быть отделена от соседних площадок озеленением. Обследования показали, что во время прогулок на участке дети всех групп перемешиваются, то есть принцип групповой изоляции не соблюдается [3]. Участок ДДУ превращен в песчаное поле, на котором в беспорядке размещены: песочницы, горки, шведские стенки, что превращает участок

© Ушакова Л. М., 2008

в унылую череду однотипных игровых элементов. Во многих ДДУ нет физкультурных площадок со специальным набором спортивного оборудования для проведения спортивных игр и соревнований.

ЦНИИЭП учебных зданий еще в 1984 году [2] внес предложения по архитектурно-планировочной организации участков яслей-садов, созданию специализированных и тематических площадок для детей дошкольного возраста, предметно-пространственной среды игровых площадок, определил требования к элементам игрового оборудования. Согласно рекомендациям, изолированные групповые площадки предусматриваются только для детей ясельного и младшего дошкольного возраста и дифференцируются по площади в зависимости от возраста детей: от 1 года до 2 лет – 100 м^2, от 2 до 3 лет – 150 м^2, от 3 до 4 лет – 180 м^2. Учитывая особенности психофизиологического развития детей данного возраста, для которых основным видом деятельности является предметная (пересыпание, перекладывание, формование), предметно-пространственная организация групповых площадок требует создания зон: для подвижных игр, игр с песком, с дидактическими игрушками, занятий по развитию речи.

Групповые площадки для детей от 4 до 7 лет площадью 220 м^2 предложено заменить на тематические и специализированные по видам деятельности детей. В составе тематических площадок могут быть: «космическая», «морская», «строительная», «приключенческая», «русское городище», а в специализированных – физкультурная, площадка для изучения Правил дорожного движения (ПДД), изодеятельности и занятий, площадка с движущимися игровыми устройствами (качели, качалки-балансиры, карусели, «беличьи колеса» и т. д.). Тематические и специализированные площадки не закрепляются конкретно за каждой дошкольной группой. Предполагалось, что их использование определится необходимостью смены занятий или игр между группами детей.

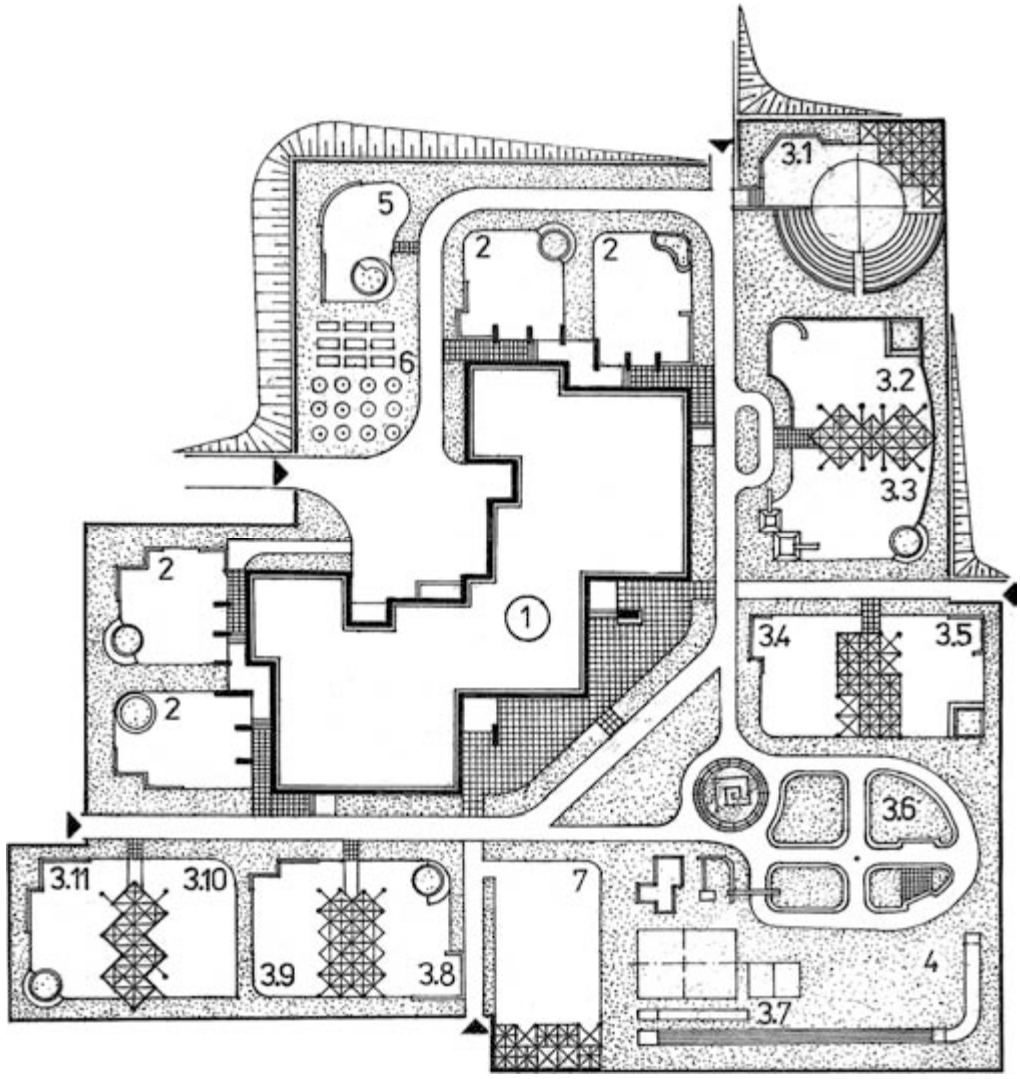


Рис. 1. Планировочные решения участка ДДУ на 14 групп

В зависимости от вида деятельности дошкольников, тематические и специализированные площадки можно разделить на три вида:

- площадки для физических упражнений и спорта, приключенческих и подвижных игр (физкультурная, «приключенческая», площадка с движущимися игровыми устройствами, «зеленая лужайка»);
- площадки для сюжетно-ролевых игр («морская», «космическая», «русское городище»);
- площадки для тихих творческих игр и занятий («театральная», «строительная», площадка для изодеятельности).

Задача предметно-пространственной организации игровой площадки усложняется необходимостью интеграции ряда деятельностей на относительно небольшой территории – 100 м^2, 150 м^2, 180 м^2. Исходя из этого, следует определить принципы организации предметно-пространственной среды игровых площадок:

- деление игровых площадок в соответствии с основными видами деятельности на функциональные зоны с оборудованием, обеспечивающим проведение разных видов деятельности;
- геометрические параметры функциональных зон должны отвечать эргономическим требованиям – соответствие игрового пространства, элементов оборудования антропометрическим особенностям детей каждой возрастной группы и количеству участников данной деятельности;
- для проведения полноценной учебно-воспитательной работы с детьми необходимо обеспечить короткие связи между элементами оборудования в пределах зоны.

На игровых площадках младших дошкольных групп необходимо выделять функциональные зоны: для игр с песком, игр с дидактическими и сюжетными игрушками, сюжетных, строительных и подвижных игр.

В отличие от игровых площадок младших дошкольных групп, предметно-пространственная организация которых предусматривает проведение всех видов деятельности, игровые площадки детей старшего дошкольного возраста имеют специализацию и тематическую направленность, определяемые ведущим типом деятельности. Таким образом, для создания полноценной игровой среды площадки необходимы такие объемно-планировочные решения, которые позволяют создавать различные пространственные структуры, горизонтальные и вертикальные поверхности, емкости, игровой ландшафт и т. п.

Разнообразие игрового пространства может быть выражено количеством соответствующим образом оборудованных зон различного назначения, их функциональной взаимосвязью и размерами. Это достигается путем членения игрового пространства в горизонтальной и вертикальной плоскостях, например, использованием взаимно-пересекающихся плоскостей-стенок, ширм, экранов, игрового оборудования, которые образуют обособленные пространства в пределах игровой площадки. При такой организации важным условием является сохранение визуальной связи всех частей игрового пространства. Разделение функциональных процессов по вертикали, то есть в разных уровнях, но в пределах единого игрового пространства, достигается террасированием площадки, созданием искусственного рельефа, использованием соответствующего оборудования [4; 128–132].

Предметно-пространственная среда игровых площадок может быть представлена различными системами группировки функциональных зон: ячейковой, коридорной, анфиладной, зальной. Выбор той или иной системы определяется характером деятельности на площадке и их последовательностью.

Ячейковая система организации игровых площадок характерна для внутренне завершенных, функционально независимых зон. Каждая зона имеет пространственную организацию, не связанную с пространственной организацией других зон. Данная система может быть использована на площадке для сюжетно-ролевых игр, где формируются зоны для игр в «дом», «школу», «больницу», «магазин».

Коридорная система организации функциональных зон характерна для игр, в которых отдельные элементы игрового процесса связаны общим сюжетом. Зоны в данном случае визуально не изолированы и имеют общую линейную коммуникацию. Коридорная система может лечь в основу организации площадок «русское городище», «приключенческая», «космическая».

Анфиладная система предполагает определенную последовательность в развитии игрового сюжета с обязательным кульминационным моментом в конце игры. Такая система позволяет формировать игровые зоны в определенной последовательности, раскрываться в пространстве и во времени. Анфиладная система организации может быть использована для площадок «космическая» и «морская».

Зальная композиция игровой площадки наиболее приемлема для функциональных процессов, требующих больших нерасчлененных площадей. Данная система формирует единое пространство площадки с условно выделенными игровыми зонами, подразумевает свободное течение игры без строгого соблюдения сюжета и возвращения к начальной стадии игры. Прерывистая преграда разграничивает пространство площадки и не препятствует перемещению детей из одной зоны в другую в процессе игры. Подобная организация пространства позволяет создать условия для такой деятельности, которая не нуждается в жестком разделении. Данная система подходит для площадок: «строительная», площадка для изотворчества и занятий, «зеленая лужайка».

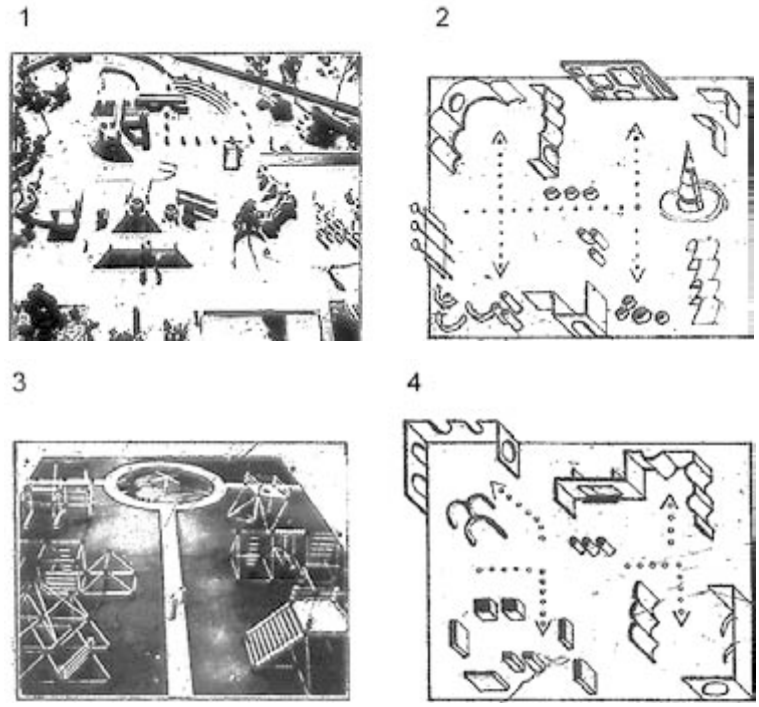


Рис. 2. Системы группировки функциональных зон игровых площадок:
1 – зальная, 2 – анфиладная, 3 – коридорная, 4 – ячейковая

При проектировании участков ДДУ учитываются два фактора, которые имеют определяющее значение в организации предметно-пространственной среды игровых площадок – *естественные условия* территории участка: перепады рельефа, зеленые насаждения и *искусственная среда*, формируемая элементами оборудования, их конструктивными свойствами, формой, фактурой поверхности, цветовым решением. При поиске оптимальных планировочных и композиционных решений участка, в процессе создания индивидуального облика каждой площадки необходимо максимально сохранять и использовать характерные ландшафтные данные участка [1].

В формировании предметно-пространственной среды участка ДДУ ведущая роль отводится ландшафту, который, с одной стороны, определяет микроклиматические условия участка, с другой – образную характеристику, а следовательно, эстетическую ценность нового ландшафта, его объемно-пространственную структуру. Одним из приемов ландшафтной архитектуры является геопластика – пластическая обработка естественного и функционально-художественное моделирование искусственного рельефа.

Геопластика в организации и благоустройстве участка ДДУ выполняет ряд функций:

Организация пространства. Различные формы пластической обработки земли позволяют объединять или выделять необходимые функциональные зоны в общем пространстве участка (зона площадок для тихих игр и занятий, зона площадок для шумных видов деятельности, хозплощадка и т. п.). Это достигается созданием откосов, насыпных холмов, террас.

Игровая функция выражается в создании сомасштабной детям игровой среды за счет многоуровневых террас, горок, холмов, а также в создании игровых скульптур из естественных и искусственных материалов. Игровая скульптура органично вписывается в микрорельеф площадки, что придает играм детей наибольшую привлекательность. В теплый период года микрорельеф может использоваться для лазания, спуска, подъема, в холодный – для катания на санках.

Декоративная функция. Пластическая обработка поверхности земли позволяет использовать характерные свойства природных и искусственных материалов – фактуру и текстуру, цвет; создавать игру света и тени формированием поверхностей, объемов, пространств, что оказывает большое эмоциональное воздействие на детей. Сочетание приемов геопластики с зелеными насаждениями, водой, малыми архитектурными формами, элементами игрового оборудования и благоустройства придает архитектурно-художественную выразительность, своеобразие и неповторимость участкам ДДУ.

Защитная функция. Необходимость создания на участке ДДУ благоприятных условий – снижение уровня шума, скорости и движения ветра, проникновения пыли, выражается в создании искусственных холмов, террас, насыпей, которые позволяют визуально отделить участок ДДУ от придомовой территории и создать положительный микроклимат.

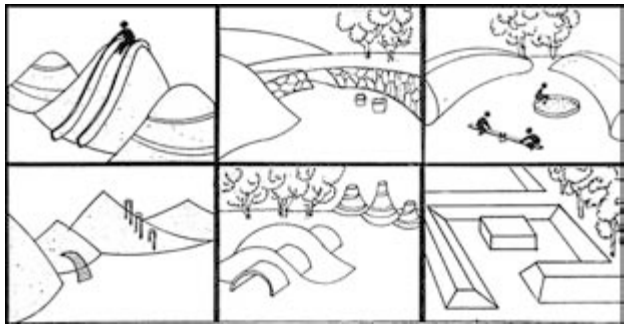


Рис. 3. Геопластика в пространственной организации участка

Таким образом, для проведения полноценной воспитательно-образовательной работы с детьми дошкольного возраста на участках ДДУ необходим принципиально новый подход к их предметно-пространственной организации, функциональному зонированию территории, благоустройству и игровому оборудованию, которое отвечало бы многообразным игровым потребностям детей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Василенко Е. М. Функции геопластики в организации жилой среды // Жилищное строительство. 1984. № 8. С. 27–28.
2. Рекомендации по размещению, планировке и оборудованию участков дошкольных учреждений. М.: ЦНИИЭП учебных зданий, 1984. 121 с.
3. Справочное пособие к СНиП 2.08.02-89*. Проектирование детских дошкольных учреждений. 1990-01-01.
4. Ушакова Л. М. Предметно-пространственная организация участков детских дошкольных учреждений: Дис. … канд. архитектуры. М., 1990. 247 с.

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ ПЕТРОЗАВОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Сентябрь, № 3 **Биология** **2008**

УДК 575.857:598.841(470.22)

АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ АРТЕМЬЕВ
доктор биологических наук, старший научный сотрудник
Института биологии КарНЦ РАН
artem@karelia.ru

ПОПУЛЯЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ БОЛЬШОЙ СИНИЦЫ *PARUS MAJOR* В ТАЕЖНЫХ ЛЕСАХ КАРЕЛИИ*

ЧАСТЬ 2. ПРОДУКТИВНОСТЬ РАЗМНОЖЕНИЯ И ДИНАМИКА ПОПУЛЯЦИИ

УСПЕШНОСТЬ И ПРОДУКТИВНОСТЬ РАЗМНОЖЕНИЯ

В условиях Приладожья до вылета птенцов сохранилось 77.1 % гнезд большой синицы (n=236). Этот показатель не зависел от сроков размножения – потери первых и ранних кладок и выводков составляли 22.1 % (n=145), вторых и повторных – 24.2% (n=91). Значительное число гнезд было брошено птицами после осмотра или отлова самок во время насиживания кладки или обогрева птенцов (табл. 7). Часть гнезд (22.2 %) разорили хищники и хищничающие животные, обычно это были горностай или ласка и большой пестрый дятел. Почти четверть погибших гнезд составили брошенные птицами по неизвестным причинам, в основном – в период откладки яиц. Часть кладок и выводков погибла по вине отдыхающих в лесу людей из-за устроенных у синичников стоянок. Несмотря на высокую плотность населения мухоловки-пеструшки, случаи межвидовой борьбы за гнездовья в Приладожье единичны, хотя в других частях ареала такое явление не редкость [4], [42], [27]. Нами отмечен единственный случай гибели кладки большой синицы из-за того, что самка мухоловки-пеструшки забросала ее гнездовым материалом.

Общая успешность размножения – отношение числа вылетевших птенцов к числу отложенных яиц – в Приладожье составила 67.9 % (n=2295). В разные годы она колебалась от 34 % (1994 г.) до 100 % (1995 г.), причем связи этих колебаний с плотностью гнездового населения практически не было (r= –0.27, n. s.). Основную роль в динамике этого показателя играли частичный отход птенцов в первых и ранних гнездах (r= –0.71, p<0.01), доля погибших по разным причинам гнезд (r= –0.68, p<0.01) и среднемесячная температура мая (r=0.43, p<0.05). По-видимому, определенную роль играют и погодные условия зимы: связи на грани значимости успешности размножения со среднемесячной температурой января (r=0.39, p=0.06) и суммой среднемесячных температур декабря, января и февраля (r=0.37, p=0.07), возможно, проявятся на большем объеме фактического материала. Причины гибели и величина отхода яиц и птенцов в первых и вторых гнездах были сходными (табл. 8). В целом, успешность инкубации составила 81.6 %, выкармливания птенцов – 83.2 % (n=1873).

В брошенных и разоренных гнездах гибнет 13.8 % яиц, причем во вторых кладках отход по этой причине несколько выше, чем в первых (F=15.3, p<0.01). Эмбриональная смертность в ранних и поздних гнездах не различалась и суммарно составила 4.6 % от общего числа отложенных яиц. Наибольшие потери птен-

© Артемьев А. В., 2008

Таблица 7

Причины гибели гнезд большой синицы в 1979–2004 годах

Причина гибели	Погибло первых и ранних гнезд		Погибло вторых и поздних гнезд		Всего	
	кладок	выводков	кладок	выводков	абс.	в %
Брошено после отлова самки	6	4	5	2	17	31.48
Брошено после осмотра	4				4	7.41
Разорено						
человеком	1		3		4	7.41
горностаем, лаской	2		3		5	9.26
куницей, норкой		1			1	1.85
серой вороной	1				1	1.85
большим пестрым дятлом		2	1		3	5.56
ястребом-перепелятником				1	1	1.85
хищник не определен	1				1	1.85
Брошено						
по неизвестной причине	7	2	4	1	14	25.93
из-за мухоловки-пеструшки	1				1	1.85
из-за муравьев			1		1	1.85
Кладка с неоплодотв. яйцами			1		1	1.85
Всего	23	9	18	4	54	100

Таблица 8

Выживаемость потомства большой синицы в период насиживания и выкармливания в 1979–2004 годах

Показатель	Первые и ранние гнезда		Вторые и поздние гнезда	
	абс.	в % от числа отложенных яиц	абс.	в % от числа отложенных яиц
Отложено яиц	1520	100	775	100
Отход яиц				
Кладка брошена	128	8.4	92	11.9
Кладка разорена	50	3.3	46	5.9
Частичный отход яиц, из них	77	5.1	29	3.7
неоплодотворенные	26	1.7	10	1.3
гибель эмбриона	43	2.9	12	1.5
продавлены	2	0.1	2	0.3
причина гибели не определена	6	0.4	5	0.6
Вылупилось птенцов	1265	83.2	608	78.5
Отход птенцов				
Гнездо брошено	61	4.0	20	2.6
Гнездо разорено	37	2.4	7	0.9
Частичный отход птенцов, из них	127	8.4	62	8
в возрасте 1–7 дней	105	6.9	53	6.8
8 дней и старше	22	1.5	9	1.2
Вылетело птенцов	1040	68.4	519	67

цов (10.1 %) были из-за «частичного отхода» – гибели части выводка в период выкармливания, еще 6.7 % от числа вылупившихся птенцов погибло в разоренных и брошенных гнездах. Небольшие биотопические различия успешности размножения были обусловлены рядом случайных причин, в первую очередь гибелью гнезд по вине человека.

В успешных гнездах (без учета разоренных и брошенных кладок и выводков) эмбриональная смертность составила 4.9 % от числа яиц, сохранившихся до вылупления (n=2157), а частичный отход птенцов – 10.8 % от числа вылупившихся (n=1748). Эти показатели не зависели от возрастного состава пар, были сходными в разных биотопах и практически не отличались при разных сроках и циклах гнездования (табл. 9). Значимые различия выявлены только при первом цикле размножения: в лесах с преобладанием ели частичный отход яиц и птенцов был ниже, чем в черноольшаниках ($F=4.5$, $p<0.05$) и сосново-лиственных лесах ($F=5.3$, $p<0.05$).

Успешность размножения большой синицы зависит от множества факторов и в пределах Европы колеблется от 42 до 86 % [31], [37], [1], [41], [12], [11], [17], [14], [24], [6] и др. Наиболее низка она в маргинальных местообитаниях – бедных по составу растительности городских парковых насаждениях и садах, или в лесах се-

Таблица 9

Частичный отход яиц и птенцов в гнездах большой синицы в разных биотопах Приладожья в 1979–2004 годах

Биотопы	Первые и ранние гнезда		Вторые и поздние гнезда	
	Отложено яиц	Вылетело птенцов, %	Отложено яиц	Вылетело птенцов, %
Черноольшаники	87	80.5	13	69.2
Ельники и елово-сосновые леса (70–80% ель или ель и сосна)	91	91.2	60	88.3
Лиственно-хвойные леса	414	86.2	183	88.0
Сосняки	72	86.1	34	79.4
Сосново-лиственные леса	433	82.2	209	83.7
Молодняки сосново-лиственные	55	83.6	37	81.1
Приспевающие сосново-лиственные леса	68	83.8	9	88.9

верных частей ареала, а максимальна в старых широколиственных лесах с богатой кормовой базой. В сходных пределах этот показатель колеблется и в различных биотопах южной Карелии: от 50 % в лиственно-сосновых молодняках до 86 % в спелых лиственных лесах [2]. Обследуемая популяция характеризуется довольно высокой успешностью гнездования и по этому признаку не отличается от популяций, обитающих на юге Финляндии, в средней полосе России и в смешанных лесах Голландии [31], [25], [22], [6]. В таежных лесах Приладожья большие синицы находят благоприятные условия для размножения, причем оптимальный для выкармливания птенцов период здесь продолжительнее, чем в других частях ареала. Об этом свидетельствует относительно высокая и стабильная успешность размножения при первом и втором циклах гнездования, в то время как в центре и на севере ареала она значительно снижается к концу гнездового сезона [37], [18], [41], [11].

Продуктивность кладок разной величины при первом цикле размножения сходная, ее значимое снижение наблюдается только в кладках, содержащих более 12 яиц (табл. 10), во вторых и повторных гнездах более высок выход птенцов из небольших кладок, но значимые различия выявлены только между кладками из 7 и 12 яиц ($F=4.7$, $p<0.05$). Считается, что у синиц наиболее продуктивны кладки чуть больше средней для данной популяции величины [37], но эта тенденция не всегда отчетливо проявляется в природе, что, возможно, связано с колебаниями многих факторов, влияющих на этот параметр [31, наши данные].

Общая продуктивность размножения популяции за весь период исследований составила 10.1 слетка на пару птиц за сезон, с колебаниями по годам от 3.5 (1994 г.) до 15.1 слетка (1981 г.). Она была прямо связана с частотой бициклии ($r=0.67$, $p<0.01$) и успешностью гнездования ($r=0.62$, $p<0.01$). Кроме того, зависела от особенностей предшествующей зимы и весны: от суммы среднемесячных температур декабря, января и февраля ($r=0.48$, $p<0.05$), от среднемесячной температуры февраля ($r=0.43$, $p<0.05$), а также от среднемесячной температуры мая ($r=0.41$, $p<0.05$). Сроки начала гнездования и плотность популяции на этот показатель влияния не оказывали ($r=–0.18$ и $r=–0.02$, n. s.). Многофакторный регрессионный анализ перечисленных выше параметров позволил получить уравнение $y=0.08+067x_1+0.62x_2$, с высокой точностью описывающее многолетнюю динамику продуктивности популяции ($R^2=82.4$). При расчетах в качестве функции и переменных использованы нормированные отклонения анализируемых признаков, y – число слетков на гнездящуюся пару, x_1 – отношение числа вылетевших из гнезд птенцов к числу отложенных яиц, x_2 – частота вторых кладок. Дисперсионный анализ этого уравнения показал, что наиболее значимый вклад в дисперсию функции вносит фактор x_1 – 48.5 % и несколько меньший – фактор x_2 – 33.8 %. Таким образом, продуктивность размножения большой синицы в Приладожье в значительной степени зависит от успешности гнездования и несколько меньше – от частоты вторых кладок.

Таблица 10

Продуктивность кладок разной величины в Приладожье в 1979–2004 годах

Число яиц в кладке	Первые и ранние гнезда				Вторые и повторные гнезда			
	Число гнезд	Отложено яиц	Число слетков	Слетков на 1 яйцо	Число гнезд	Отложено яиц	Число слетков	Слетков на 1 яйцо
1	-	-	-	-	1	1	0	0
5	-	-	-	-	1	5	4	0.8
6	1	6	4	0.67	4	24	23	0.96
7	3	21	21	1	10	70	58	0.83
8	2	16	15	0.94	15	120	89	0.74
9	9	81	56	0.69	11	99	68	0.69
10	22	220	175	0.8	15	150	108	0.72
11	48	528	391	0.74	13	143	109	0.76
12	26	312	232	0.74	7	84	57	0.68
13	17	221	125	0.57	-	-	-	-
14	1	14	0	0	1	14	0	0
15	1	15	7	0.47	-	-	-	-

Обследуемая популяция демонстрирует типичный пример r-стратегии размножения [13], оптимальный для существования в неустойчивых условиях среды обитания [9]. Она характеризуется высоким уровнем репродукции, по-видимому, близким к видовому максимуму. Судя по приведенным в литературе данным, во многих частях ареала продуктивность размножения меньше, чем в Приладожье, и только в популяциях о. Влиеланд (Голландия) и Приокско-Террасного заповедника (Россия) она составляет 11 и 11.2 слетка на пару гнездящихся птиц [32], [21], [24], [6].

В Приладожье в район рождения возвращается малое число птиц, поэтому точная оценка роли первых и вторых выводков в поддержании численности гнездового населения по числу рекрутов невозможна. Из помеченных в 1979–2003 годах 1511 птенцов в последующие годы здесь загнездилось всего 6, или 0.4 %, и это были особи из средних по срокам и величине кладки первых и вторых гнезд (рис. 4).

СМЕРТНОСТЬ ВЗРОСЛЫХ И МОЛОДЫХ ПТИЦ

Оценка смертности взрослых птиц по соотношению первогодков и особей старших возрастных групп в составе гнездового населения показывает, что ее величина в среднем составляет 51.6 % у самцов и 75.6 % у самок. Расчет выживаемости другими методами, основанными на

повторной регистрации окольцованных птиц [7], [12], затруднен, так как в район мечения на гнездование возвращается лишь незначительное число выживших особей. Из 127 помеченных у гнезд в 1979–2003 годах самцов в последующие годы обнаружено всего 14 (11 %), а из 132 самок – 8 (6,1 %). С учетом полноты контроля птиц в искусственных гнездовьях возврат самцов составил 13.2 %, самок – 7 %. Низкий уровень возврата больших синиц, по-видимому, характерен и для других областей средней полосы России [5].

Смертность молодых птиц от вылета из гнезд до начала следующего сезона размножения, рассчитанная по формуле В. А. Паевского [12] для относительно стабильной популяции, составила 87.3 %.

В разных точках ареала смертность взрослых птиц колеблется в пределах 40–60 %, причем у самцов она обычно на 3–8 % ниже, чем у самок [11], [20], [23] и др. В северных популяциях выживаемость взрослых птиц остается довольно высокой: в окрестностях Оулу на широте 65° до следующего сезона размножения доживает 52 % самцов и 48 % самок [40]. Необычно высокий показатель уровня смертности самок, полученный в результате наших расчетов, по-видимому, связан с методической погрешностью. Исходное допущение, что все замещенные первогодками взрослые особи погибли, не учитывает эмиграцию птиц. Таежные леса, удаленные от населенных пунктов, представляют для большой синицы субоптимальные или «буферные», по терминологии Клюйвера и Тинбергена [33], местообитания, что в первую очередь связано с малой пригодностью таких стаций для птиц в зимний период [10]. Преобладание здесь первогодков среди самок, вероятно, связано со сменой ими биотопов в течение жизни. Самцы отличаются более устойчивой связью с территорией, и после первого размножения большинство выживших, по-видимому, возвращается в район прежнего гнездования. Можно предположить, что самки, в меньшей степени связанные с территорией, с повышением социального статуса на втором году жизни стремятся остаться на размножение в оптимальных стациях – в окрестностях населенных пунктов поблизости от мест зимовки. Поэтому многие из них не возвращаются на места первого гнездования в лесные массивы, где их место занимают первогодки. Косвенным подтверждением этому служит состав городских популяций большой синицы в северо-восточной Европе: в пригородах Ленинграда первогодки составляли около 50 % гнездового населения, а в Тарту и окрестностях Хельсинки – 44–45 % гнездящихся [15], [29], [28].

Завышенная оценка смертности самок обследуемой популяции ведет, в свою очередь, к завышению выживаемости сеголетков. С учетом изложенного выше, смертность самок в Приладожье, вероятно, составляет не более 55–60 %, а молодых птиц в течение первого года жизни – около 89 %. Выживаемость первогодков у большой синицы в пределах Европы колеблется от 11 до 31 %, обычно она составляет 15–20 % [31], [20], [40], [19] и др. Смертность молодых птиц Приладожья приближается к наиболее высоким значениям, полученным только в 2 точках ареала – в плотно населенной популяции о. Влиеланд в Голландии и в Окском заповеднике в средней полосе России [32], [11]. Возможно, это связано с нестабильными и суровыми условиями зимовки в исследуемом регионе и с увеличением дальности кочевок и миграций птиц.

ОСОБЕННОСТИ РЕГУЛЯЦИИ ЧИСЛЕННОСТИ БОЛЬШОЙ СИНИЦЫ В ЛЕСАХ ПРИЛАДОЖЬЯ

Как показывают приведенные в предыдущих разделах данные, в Приладожье плотность гнездового населения не оказывала существенного влияния на динамику основных параметров репродукции большой синицы. В ряде популяций Западной Европы, в условиях высокой численности птиц, плотность-зависимые механизмы регуляции воспроизводства проявляются более отчетливо, воздействуя на величину кладки, частоту вторых выводков, успешность и итоговую продуктивность размножения [7], [37], [31], [42], [34], [30]. В обследуемой популяции подобного не происходит, очевидно, в связи с тем, что здесь плотность населения не достигает критической величины, при которой начинается действие этих механизмов. Как показал Клюйвер [31], уровень репродукции у большой синицы снижается после того, как плотность гнездового населения превысит 4 пары на 10 га, а в районе исследований даже в оптимальных биотопах в годы подъема численности она была менее 2.5 пары/10 га. На контролируемой территории птицы гнездились на значительном удалении друг от друга и часто ограничивались лишь акустическими контактами, а иногда и вовсе «не знали» о существовании соседей. Если в Англии в лесу у Оксфорда среднее расстояние между гнездами соседних пар составляло 40–50 м [35], то в Приладожье эта дистанция колебалась от 60 до 2800 м и в среднем составляла около 730±50 м (n=97). В отдельные годы на линиях гнездовий протяженностью 3–6 км обитали лишь одиночные пары, и, хотя в ближайших окрестностях мест развески синичников часть птиц гнездилась в естественных дуплах, интервалы между их гнездами были значительными. В условиях такой низкой численности репродуктивная стратегия популяции была направлена на максимальный уровень воспроизводства. Итоговая продуктивность размножения практически не зависела от состава и плотности гнездового населения и колебалась в основном под действием внешних факторов, определяющих успешность гнездования и частоту вторых кладок. Существенное влияние на нее оказывала погода зимы и ранней весны, по-видимому, действующая на птиц опосредованно, через динамику кормовой базы.

Число гнездящихся пар и основные показатели текущего сезона размножения практически не отражались на изменениях плотности гнездового населения в последующем сезоне (табл. 11). Основную роль в динамике численности играли выживаемость птиц во внегнездовой период и интенсивность иммиграции. Ежегодно состав гнездового населения почти полностью обновлялся за счет птиц-иммигрантов. Резиденты и особи местного происхождения составляли незначительную часть популяции (менее 11 %) и практически не влияли на ее динамику. Это подтвердилось и простыми формальными расчетами. Динамика плотности гнездового населения контролируемой территории (y) удовлетворительно описывалась уравнением линейной регрессии $y=0.02+0.82x_1+0.19x_2$, ($R^2=90.3$), где x_1 – плотность птиц-иммигрантов, а x_2 – резидентов и особей местного происхождения (в качестве функции и переменных использованы нормированные отклонения признаков). Дисперсионный анализ этого уравнения показал, что основной вклад в дисперсию функции вносит фактор x_1 – 88.1 %, в то время как фактор x_2 определяет ее всего на 2.1 %.

На плотность гнездового населения определенное влияние оказывала и погода предшествующей зимы: умеренная связь этого параметра со среднемесячной температурой декабря была на грани значимости (r=0.39, p=0.06). В районе работ, в лесах, где были развешены гнездовья, большие синицы обычно не зимовали, но в 1980–1992 годах здесь с декабря по март действовали 2–3 зерновых прикормки, и часть птиц оставалась около них на зиму. Поэтому мы провели раздельный анализ влияния зимних температур на динамику популяции за этот период и за 1993–2003 годы, когда таких прикормок не было. Плотность гнездового населения в 1980–1992 годах была прямо связана со среднемесячной температурой декабря (r=0.67, p<0.05) и, вероятно, с температурой января (r=0.46, p=0.11). В 1993–2003 годах такой зависимости не было (r=0.15 и r=–0.04, n. s.), очевидно, в связи с тем, что большая часть птиц откочевывала на территории с другим температурным режимом.

Известно, что на выживаемость влияют не только погодные и кормовые условия, но и осенняя численность птиц: зимние холода сильнее сказываются на динамике плотных популяций [31]. В районе исследований осенняя плотность населения (сумма вылетевших из гнезд молодых и гнездившихся взрослых птиц) в среднем составляла 46.2 особи/км^2. В годы, когда она превышала эту величину, осенне-зимняя погода сильнее влияла на будущее число гнездящихся пар. В такие сезоны плотность гнездового населения была прямо связана со среднемесячной температурой ноября (r=0.69, p<0.05) и мало зависела от температур декабря (r=0.35, n. s.) и января (r=0.22, n. s.). В годы с низкой осенней плотностью населения ноябрьская температура оказывала на нее обратное действие (r= –0.5, p<0.05), а декабрьская и январская – практически не влияли (r=0.27, r=0.17, n. s.).

Таблица 11

Корреляционные связи плотности гнездового населения большой синицы с демографическими параметрами текущего и предшествующего сезонов размножения и погодой

Показатель	r	p	n
Текущий сезон			
Плотность населения иммигрантов	**0.94***	<0.001	25
Плотность населения резидентов и местных птиц	0.73	<0.001	25
Доля первогодков среди гнездового населения	0.15	n. s.	25
Возврат птиц, гнездившихся в предыдущем году	0.19	n. s.	25
Возраст искусственных гнездовий	–0.25	n. s.	25
Дата устойчивого перехода среднесуточной температуры через 0 °C	**0.45**	<0.05	23
Дата накопления суммы эффективных температур 50 °C	**–0.42**	<0.05	23
Среднемесячная температура			
января	0.19	n. s.	23
февраля	–0.10	n. s.	23
марта	0.02	n. s.	23
апреля	**0.49**	<0.05	23
мая	0.10	n. s.	23
Предшествующий сезон			
Плотность гнездового населения	0.21	n. s.	25
Величина первой кладки	0.26	n. s.	25
Успешность размножения	–0.07	n. s.	25
Частота вторых кладок	0.29	n. s.	20
Продуктивность размножения (слетков/пару)	0.15	n. s.	25
Осенняя плотность населения (сумма взрослых и вылетевших из гнезд молодых птиц/км^2)	0.27	n. s.	25
Среднемесячная температура			
ноября	0.16	n. s.	24
декабря	0.39	0.06	24

* – значимые коэффициенты корреляции выделены жирным шрифтом.

Весенняя погода, в первую очередь апрельские температуры воздуха, отчетливо сказывалась на динамике численности птиц (табл. 11).

Возможно, она влияла на уровень смертности в период распределения по территории и обострения социальных конфликтов. Также не исключено, что погода сказывалась на биотопическом перераспределении птиц: весенние холода могли сдерживать уход птиц из зимовочных стаций и стимулировать более плотное заселение ими оптимальных местообитаний, препятствуя оттоку в маргинальные.

Известно, что на динамику популяции большой синицы, как и многих других птиц, влияет комплекс факторов, как эндогенных, та-

ких как зависящие от плотности продуктивность размножения, смертность молодых и взрослых птиц, эмиграция и иммиграция, так и экзогенных – состояние кормовой базы, погодные условия и т. д. Сложное взаимодействие этих факторов по-разному отражается на изменении численности отдельных популяций и делает невозможным построение единой универсальной модели [31], [7], [37], [44], [8], [26], [12] и др. Изучение оседлой популяции в южной Англии в лесу близ Оксфорда показало, что основной причиной ежегодных колебаний гнездового населения здесь была динамика выживаемости первогодков [36], [37], [42]. Она практически не зависела от зимней погоды и отчетливо коррелировала лишь с урожаем буковых орешков, хотя основной отход происходил в первые месяцы жизни до перехода птиц на этот вид корма. Это связывали с тем, что урожай бука мог совпадать с плодоношением других видов деревьев, с благоприятной погодой и с обилием насекомых. В меньшей степени на динамику гнездового населения влияла выживаемость взрослых птиц, а плотность-зависимая продуктивность размножения и соотношение эмиграции и иммиграции не сказывались вовсе. Кребс [34] подтвердил основные заключения Лэка и Перринса и сделал вывод, что слабо зависящая от плотности и территориального поведения зимняя смертность первогодков и взрослых птиц – ключевой фактор, определяющий динамику обследуемой популяции. Позднее Кломп [30], не оспаривая этого утверждения, показал, что в лесу Марлей у Оксфорда зависимая от плотности продуктивность размножения играет важную роль в стабилизации численности синиц. Влияние погоды на динамику этой популяции, по мнению Лэка [36], [37] и Перринса [42], было незначительным и проявлялось только в необычно холодные зимы 1946–1947 и 1966–1967 годов с длительным залеганием снега. Однако, как показал анализ их материалов с привлечением большего числа погодных факторов, плотность гнездового населения коррелировала с зимними и ранневесенними температурами воздуха: среднемесячными февральскими [34] за период с конца января до середины апреля и наиболее значимо – за период с 11 по 30 марта [43]. В других частях Британии на динамику численности синиц влияли ноябрьские температуры [39]. Подробный анализ более продолжительных рядов данных по популяции у Оксфорда показал, что ее динамика зависит от зимних и ранневесенних температур воздуха, от урожая бука, а также от плотности населения предшествующего года [38].

Выживаемость птиц во внегнездовой период выступала ведущим фактором динамики популяций больших синиц в Голландии и Бельгии, но здесь она более отчетливо зависела от плотности населения и зимней погоды. Важную роль при этом играли продуктивность размножения, территориальное поведение и процессы эмиграции и иммиграции, связанные как с плотностью населения, так и с состоянием кормовой базы [31], [32], [33], [30], [19], [23].

В юго-западной Финляндии на динамику гнездового населения отчетливо влияли только погодные условия зимы [26], а в условиях более сурового климата Подмосковья связь погоды с плотностью гнездового населения была менее заметна в связи с зимовкой значительной части птиц за пределами района размножения [5], [6].

Таким образом, в разных частях ареала в зависимости от специфики локальных условий на динамику популяций оказывает влияние комплекс разных по характеру и силе воздействия факторов, среди которых не всегда удается выделить решающие. Да и такое выделение, по мнению Н. П. Наумова [8], будет неправильным, так как оно приведет к упрощению сложных взаимосвязей. Судя по составу и динамике местного населения, таежные леса Приладожья представляют собой субоптимальные, или «буферные», местообитания для большой синицы. Плотность гнездового населения здесь невысока и сильно колеблется по годам. Репродуктивная стратегия популяции направлена на максимальный уровень воспроизводства, ограничиваемый только физиологическими возможностями птиц и ресурсами внешней среды, но итоговая продуктивность размножения не влияет на будущую плотность гнездового населения. Основную роль в динамике численности играют иммигранты, причем по имеющимся данным невозможно установить происхождение этих птиц: это могут быть и сопредельные участки леса, и достаточно отдаленные территории.

Определенное влияние на плотность гнездового населения оказывает погода, но ее действие зависит от ряда других факторов. Теплая погода в ноябре положительно влияет на будущую плотность гнездового населения при высокой осенней численности, а при низкой – отрицательно. Возможно, так проявляется совместное действие погоды и территориального поведения на выживаемость птиц. Теплая поздняя осень ведет к задержке синиц в районе исследований и, по-видимому, к последующей повышенной смертности их зимой. При низкой плотности популяции большинство птиц может оставаться здесь, при высокой – только часть, так как осенняя борьба за территорию будет вынуждать излишек птиц откочевывать в другие местообитания, где они могут найти более благоприятные условия и успешно пережить зиму.

Зимние холода, в первую очередь декабрьские температуры воздуха, сказывались на плотности гнездового населения, причем и их действие зависело от особенностей распределения птиц по территории. В годы, когда часть птиц оставалась на зимовку в районе развески гнездовий, эта связь была отчетливой, а в годы, когда птицы откочевывали из этого района, она пропадала.

Большую роль в динамике гнездового населения большой синицы Приладожья, так же как и в южной Англии [43], [38], играли апрельские температуры воздуха. Возможно, они влияли на характер перераспределения птиц между оптимальными и маргинальными местообитаниями или на смертность птиц в этот период.

По имеющимся материалам можно заключить, что на динамику местного населения влияли разные, часто взаимосвязанные факторы, среди которых трудно выделить ключевой: это интенсивность иммиграции и выживаемость во внегнездовой период, погода в критические сезоны годового цикла птиц, осенняя плотность популяции и особенности территориального поведения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таежные леса Карелии представляют для большой синицы субоптимальные местообитания, что проявляется в низкой плотности (около 4 пар/км^2) и значительном преобладании первогодков над взрослыми особями в составе гнездового населения. Как и в других частях ареала, птицы предпочитают спелые древостои с преобладанием или значительной примесью лиственных пород, хотя чистые черноольшаники избегают, по-видимому, в связи с поздними сроками вегетации ольхи. Плотно сомкнутые хвойные леса менее привлекательны для птиц, так как отличаются более поздним сходом снега и запаздыванием весенних фенологических явлений, что проявляется и в задержке сроков начала гнездования. Биотопические различия проявляются и в частоте вторых кладок – в предпочитаемых стациях большее число птиц участвует во втором цикле размножения, что, по-видимому, связано с состоянием кормовой базы в разных типах леса.

Сроки начала кладки зависели от биотопа и хода апрельских температур воздуха, особенно сильно на птиц влияла дата накопления суммы эффективных температур 50 ºС, совпадающая с «датой детерминанта» (determinant date) – условного времени старта быстрого развития ооцитов у большинства самок [31]. Однако ни этот, ни любой другой из рассмотренных в работе температурных показателей нельзя назвать пороговым для обследуемой популяции в связи с сильными ежегодными вариациями их значений.

Величина кладки не зависела ни от плотности гнездового населения, ни от биотопа. Она линейно уменьшалась в течение сезона, в среднем на 0.043 яйца в день. В отличие от более южных частей ареала, в Приладожье отмечена необычная тенденция связи возраста самки со сроками и величиной кладки: первогодки гнездились на день раньше старых птиц и откладывали чуть больше яиц. Эти различия не были значимыми, но в итоге величина выводка у первогодков была достоверно большей. Возраст самца положительно сказывался на сроках размножения, но не влиял на величину кладки. Отсутствие возрастных различий у самок большой синицы в сроках начала и величине кладки характерно для исследуемого региона [25], [3] и, по-видимому, связано с тем, что в этих широтах на птиц сильное действие оказывают нестабильные внешние условия, на фоне которых возрастные особенности репродукции играют незначительную роль и не всегда проявляются в природе.

В Приладожье вторые кладки имели 47.8 % пар, успешно выкормивших первый выводок. Плотность гнездового населения и возрастной состав пар на частоту бициклии существенного влияния не оказывали. В разнообразных по составу пород древостоях птицы приступали ко второму циклу размножения чаще. Погода зимы – среднемесячная температура воздуха в феврале, положительно влияла на частоту бициклии, очевидно, воздействуя на состояние кормовой базы через успешность зимовки беспозвоночных животных. Интервал между первым и вторым циклами размножения не отличался от других частей ареала. Дистанция между первым и вторым гнездами одной пары была более значительной (около 230 м), что, вероятно, связано с изменением кормовой базы в течение сезона и возможностью расширения участка обитания при отсутствии территориальной конкуренции с соседями.

Успешность размножения в Приладожье довольно высока: до вылета выводка сохраняется около 77 % гнезд, а 67.9 % отложенных яиц дают слетков. Несмотря на значительные вариации по годам, она не зависела от плотности гнездового населения, биотопа, возрастного состава популяции и сроков размножения. Основную роль в динамике этого показателя играли частичный отход птенцов в первых и ранних выводках, доля погибших гнезд и среднемесячная температура воздуха в мае. Доля погибших гнезд колебалась под влиянием случайных причин, а на динамику частичной смертности птенцов отчетливо влияла погода предшествующей зимы – сумма среднемесячных температур за декабрь, январь и февраль. По-видимому, зимняя и весенняя погода сказывалась на птицах через состояние кормовой базы, влияя на выживаемость и летнее обилие беспозвоночных животных. Общая продуктивность размножения варьировала по годам и в среднем составляла около 10 слетков на пару гнездящихся птиц за сезон. Она зависела от успешности гнездования и частоты бициклии и в меньшей степени – от особенностей зимней и весенней погоды.

Приблизительная оценка смертности показывает, что у самцов она составляет около 52 %, у самок – 55–60 %, а у молодых птиц на первом году жизни – около 89 %.

Низкая плотность гнездового населения большой синицы в Приладожье препятствует действию зависящих от плотности механизмов регуляции плодовитости, поэтому репродуктивная стратегия популяции направлена на максимальный уровень воспроизводства, ограничи-

ваемый только физиологическими возможностями птиц и ресурсами среды обитания.

Динамика численности местного населения практически не зависела от продуктивности размножения в предшествующем сезоне, она определялась интенсивностью притока иммигрантов, составляющих около 89 % гнездового населения, и выживаемостью птиц во внегнездовой период. Определенное влияние на нее оказывала погода в критические периоды годового цикла – во время осеннего и весеннего перераспределения по территории и зимовки. При этом действие погоды проявлялось в зависимости от плотности популяции и особенностей территориального поведения птиц.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор приносит глубокую благодарность коллегам В. Б. Зимину, Н. В. Лапшину и Т. Ю. Хохловой за помощь при проведении полевых исследований. На заключительных этапах работа частично финансировалась РФФИ и Нидерландским фондом поддержки научных исследований (NWO), гранты № 047.009.01, 047.017.009/05-04-89004.

* *Окончание статьи*, начало в журнале «Ученые записки Петрозаводского государственного университета». Июнь, 2008. №2 (92). С. 31–43.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бианки В. В., Шутова Е. В. К экологии большой синицы в Мурманской области // Бюлл. МОИП. Отд. биологии. 1978. Т. 83. Вып. 2. С. 63–70.
2. Зимин В. Б. Материалы по гнездованию большой синицы (*Parus major* L.) в Карелии // Фауна и экология птиц и млекопитающих таежного Северо-Запада СССР. Петрозаводск: Изд-во КФ АН СССР, 1978. С. 17–31.
3. Зимин В. Б. Экология воробьиных птиц северо-запада СССР. Л.: Наука, 1988. 184 с.
4. Лихачев Г. Н. О взаимоотношениях большой синицы и мухоловки-пеструшки при заселении ими искусственных гнездовий // Привлечение и переселение полезных насекомоядных птиц в лесонасаждения степной и лесостепной зоны. М.: Сельхозгиз, 1954. С. 87–96.
5. Лихачев Г. Н. Материалы по биологии птиц, гнездящихся в искусственных гнездовьях // Тр. Приокско-Террасного гос. заповедника. 1961. Вып. 4. С. 82–146.
6. Лихачев Г. Н. Размножение и численность большой синицы (Parus major) на юге Московской области // Сибирский экологический журнал. 2002. № 6. С. 757–773.
7. Лэк Д. Численность животных и ее регуляция в природе. М.: Иностр. лит., 1957. 404 с.
8. Наумов Н. П. Экология животных. М.: Высш. школа, 1963. 620 с.
9. Наумов Н. П., Никольский Г. В. О некоторых общих закономерностях динамики популяций животных // Зоол. журн. 1962. Т. 41. Вып. 8. С. 1132–1141.
10. Носков Г. А., Смирнов О. П. Территориальное поведение и миграции большой синицы (*Parus m. major L.*). Экология птиц Приладожья // Труды БИНИИ ЛГУ. 1981. Вып. 32. С. 100–130.
11. Нумеров А. Д. Популяционная экология большой синицы в Окском заповеднике // Орнитология. М.: Изд-во МГУ, 1987. Вып. 22. С. 3–21.
12. Паевский В. А. Демография птиц. Л.: Наука, 1985. 285 с.
13. Пианка Э. Эволюционная экология. М.: Мир, 1981. 400 с.
14. Семенов-Тян-Шанский О. И., Гилязов А. С. Птицы Лапландии. М.: Наука, 1991. 288 с.
15. Смирнов О. П., Носков Г. А. Структура популяции большой синицы в Ленинградской области // Экология. 1975. № 6. С. 79–83.
16. Смирнов О. П., Тюрин В. М. К биологии размножения большой синицы в Ленинградской области // Орнитология. М.: Изд-во МГУ, 1981. Вып. 16. С. 185–188.
17. Яремченко О. А., Болотников А. М. Биология размножения большой синицы // Орнитология. М.: Изд-во МГУ, 1988. Вып. 23. 81–93.
18. Balen J. H. van. A comparative study of the breeding ecology of the great tit (*Parus major*) in different habitats // Ardea. 1973. V. 61. P. 1–93.
19. Balen J. H. van, Noordwijk A. J. van, Visser J. Liefetime reproductive success and recruitment in two Great Tit populations. Ardea. 1987. V. 75. P. 1–11.
20. Bulmer M. G., Perrins C. M. Mortality in the Great Tit Parus major. Ibis. 1973. V. 115. P. 277–281.
21. Cramp S., Perrins C. M. Flycatchers to Shrikes. The Birds of the Western Palearctic. V. VII. Oxford university press, 1993. 577 p.
22. Dekhuijzen H. M., Schuijl G. P. J. Changes in breeding success of Great Tit *Parus major* and Pied Flycatcher Ficedula hypoleuca on the Veluwe and the Gooi, 1973–92. Limosa. 1996. V. 69. P. 165–174.
23. Dhondt A. A. Trade-offs between reproduction and survival in tits. Ardea. 2001. V. 89 (spec. issue). P. 155–166.
24. Glutz von Blotzheim U. N., Bauer K. M. Muscicapidae – Paridae. Handbuch der Vogel Mitteleuropas. Bd.13. Teil 1. Wiesbaden, Aula-Verlag. 1993. 808 s.
25. Haartman L. von. The Nesting Habits of Finnish birds 1. Passeriformes. Commentationcs Biologicae Soc. Sci. Fenn. 1969. V. 32. P. l–187.
26. Haartman L. von. Population dynamics / Farner D. S., King. J. R. (eds). Avian biology. V. 1. London: Academic Press, 1971. P. 391–459.
27. Haartman L. von. Breeding time of the Pied Flycatcher Ficedula hypoleuca. Population biology in passerine birds. NATO ASI Series. V. G 21. Berlin. Springer, 1990. P. 1–16.
28. Hôrak P., Lebreton J.-D. Pathways of selection in avian reproduction: a functional framework and its application in the population study of the Great Tit (*Parus major*). Ph. D.-thesis. Dissertationes Biologicae Universitatis Tartuensis. V. 16. Tartu University Press, 1995. 118 p.

29. Järvinen A., Pryl M. Egg dimensions of the Great Tit Parus major in southern Finland. Ornis Fennica. 1989. V. 66. P. 69–74.
30. Klomp H. Fluctuations and stability in Great Tit populations. Ardea. 1980. V. 68. P. 205–224.
31. Kluyver H. N. The population ecology of the Great Tit Parus m. major L. Ardea 39. 1951. P. 1–135.
32. Kluyver H. N. Regulation of a bird population. Ostrich. Suppl. 6. 1966. P. 389–396.
33. Kluyver H. N., Tinbergen L. Territory and the regulation of density in titmice // Arch Neerl. Zool. 1953. V. 10. P. 265–289.
34. Krebs J. R. Regulation of numbers in the Great Tit (Aves: Passeriformes). J. Zoology. London. 1970. V. 162. P. 317–333.
35. Krebs J. R. Territory and breeding density in the Great Tit Parus major. Ecology. 1971. V. 52. P. 2–22.
36. Lack D. A long-term study of the great tits (Parus major). J. Animal Ecology. 1964. V. 50. P. 375–386.
37. Lack D. Population studies of birds. Oxford: Clarendon Press, 1966. 341 p.
38. Leberton J.-D. Modelling density dependence, enviromental variability, and demographic stochasticity from population counts: an example using wytham wood Great Tits. Population biology of passerine birds. NATO ASI Series. V. G 21. Berlin. Springer, 1990. P. 89–102.
39. O'Connor R. J. Pattern and process in Great Tit (Parus major) populations in Britain. Ardea 1980. 1980. V. 68. P. 165–183.
40. Orell M., Ojanen M. Mortality rates of the Great Tit, Parus major in a northern population. Ardea. 1979. V. 67. P. 130–133.
41. Orell M., Ojanen M. Breeding success and population dynamics in a northern great tit Parus major population. Ann. Zool. Fennici. 1983. V. 20. P. 77–98.
42. Perrins C. M. Population fluctuations and clutch-size in the Great Tit, *Parus major L.* J. // Animal Ecology. 1965. V. 34. P. 601–647.
43. Slagsvold T. Critical period for regulation of Great Tit (*Parus major* L.) and Blue Tit (Parus caeruleus L.) populations // Norw. J. Zool. 1975. V. 23. P. 67–88.
44. Wynne-Edwards V. C. Animal dispersion in relation to social behavior. Edinburgh; London, 1962. 653 p.

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ ПЕТРОЗАВОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Сентябрь, № 3 **Биология** **2008**

УДК 582.284

ПЕТР ГЕННАДЬЕВИЧ ЗАВОДОВСКИЙ
старший преподаватель кафедры зоологии и экологии эколого-биологического факультета ПетрГУ
petr1483@mail.ru

АФИЛЛОФОРОИДНЫЕ ГРИБЫ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ВОДЛОЗЕРЬЯ

В лесных экосистемах Водлозерья изучено биологическое разнообразие афиллофороидных грибов. Приведены данные о приуроченности афиллофороидных грибов к древесным субстратам. Выявлены закономерности сходства и различия в биоте афиллофороидных грибов в континентальных и островных лесных экосистемах.
Ключевые слова: афиллофороидные грибы (макромицеты), лесные экосистемы Водлозерья, субстрат, тип гнили

Состояние лесных экосистем принято оценивать с позиций биологического разнообразия входящих в их состав высших растений, мохообразных и лишайников. Между тем грибы являются одним из важнейших компонентов гетеротрофного блока лесных экосистем. При нормальном функционировании лесных экосистем особая роль принадлежит грибам – редуцентам древесины, или ксилотрофам. Большая часть из них относится к группе афиллофороидных макромицетов, ранее составлявших порядок *Aphyllophorales*, а в настоящее время рассматриваемых в составе нескольких порядков. Представители различных семейств и родов активно участвуют в разложении древесины на всех стадиях этого процесса [6].

Грибы-макромицеты встречаются в основном в тех лесах, где существует наиболее благоприятная среда для их развития и распространения [35]. Наибольшее видовое разнообразие афиллофороидных грибов характерно для старых естественных, мало затронутых интенсивной хозяйственной деятельностью лесных фитоценозов, что в значительной мере связано с наличием здесь большого количества мертвой древесины – субстрата для развития этих грибов [27].

В связи с этим важное значение в настоящее время приобретают исследования биологического разнообразия афиллофороидных базидиомицетов на особо охраняемых природных территориях, где еще сохранились массивы старовозрастных лесов, слабо затронутые человеческой деятельностью.

Именно такой территорией является Водлозерье, где был создан Национальный парк «Водлозерский». Водлозерский парк проектировался и развивался в полном соответствии с принятой в 1995 году Севильской стратегией и в 2001 году первым среди парков России вошел во всемирную сеть биосферных резерватов UNESCO [36].

РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследуемая территория Водлозерья (62º21′ с. ш. и 36º51′ в. д.) занимает обширные территории в бассейне озера Водлозера и реки Илексы, где еще сохранились крупные лесные массивы, не нарушенные деятельностью человека. Более 10 % территории занято озерами и реками. Типичный ландшафт болот и заболоченных лесов, сформировавшийся на древней озерно-

© Заводовский П. Г., 2008

ледниковой равнине, представлен на большей части бассейна реки Илексы. Район расположен на стыке северной и средней подзон тайги и отличается большим разнообразием лесных, лесоболотных, болотных, водно-болотных и водных экосистем, отражающих природные особенности таежной зоны Европейского Севера России. Болота являются неотъемлемым компонентов природных ландшафтов и занимают 191 тыс. га [3].

Около 50 % площади занято лесами. На большей части территории Водлозерья (свыше 90 %) преобладает растительность, связанная со среднетаежными старовозрастными зеленомошными хвойными древостоями. Доминируют еловые сфагновые и долгомошные заболоченные леса в сочетании с зеленомошными ельниками. Сообщества, характерные для северной тайги, представлены ельниками воронично-черничными и сосняками багульниково-сфагновыми, произрастающими в основном в верховьях реки Илексы [37]. Экологический спектр еловых лесов широк и представлен 9 типами леса: от бедных сфагновых до самых производительных (кисличных). Для ельников характерно абсолютное преобладание черничного типа (67,2 %). Второе место занимают долгомошники (23,1 %). Остальные типы леса представлены незначительно [2]. В то же время на значительной части островов оз. Водлозера доминируют вторичные лесные экосистемы: березняки, осинники, ивняки. Это связано с интенсивной антропогенной нагрузкой, которую испытывали лесные экосистемы островов в XIX – начале XX века.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование биоты афиллофороидных грибов проводилось в лесных экосистемах Водлозерья (в окрестностях д. Куганаволок; в окрестностях кордонов Пильмасозеро, Бостилово и турбазы «Охтома»; на побережьях рек Сухая Водла, Новгуда, Илекса; на островах оз. Водлозера: Валгостров, Великостров, Ильинский погост, Канзанаволок, Колгостров, Пелгостров, Марь, Охтомостров, Рагуново, Шендома, Шуйостров) в 2002–2008 годах.

На указанных территориях в соответствии с целью и задачами исследования проводился сбор афиллофороидных макромицетов по методике составления гербария грибов [22].

Идентификация видов афиллофороидных грибов проводилась по определителям [7], [28], [5], [30], [42], [43], [38].

Гербарные сборы переданы на хранение в гербарий Петрозаводского государственного университета (PZV), гербарий Института леса КарНЦ РАН (PTZ), гербарий Helsinki University Botanical Museum (H). Часть гербарных образцов была определена младшим научным сотрудником, кандидатом биологических наук А. В. Руоколайнен (лаборатория лесной микологии и энтомологии Института леса КарНЦ РАН) и докторами R. Penttilä и H. Kotiranta (Finnish Environment Institute), за что автор выражает им свою благодарность и признательность.

Видовое название древесных растений приводилось по определителям [32], [23]: *Pinus sylvestris* L. (сосна обыкновенная), *Picea abies* (L.) Karst. (ель европейская), *Larix sibirica* Ledeb. (лиственница сибирская), *Juniperus communis* L. (можжевельник обыкновенный), *Betula pendula* Roth. (береза повислая или бородавчатая), *Betula pubescens* Ehrh. (береза пушистая), *Alnus incana* (L.) Moench. (ольха серая), *Populus tremula* L. (осина), *Sorbus aucuparia* L. (рябина обыкновенная), *Salix caprea* L. (ива козья), *Malus sylvesrtis* (L.) Mill. (яблоня лесная).

При описании типов гнилей в статье использована шкала, предложенная А. Т. Вакиным, О. И. Полубояриновым, В. А. Соловьевым [10]:

1-й тип – пестрая, коррозионная, губчато-волокнистая;
2-й тип – белая, коррозионно-деструктивная, трухляво-волокнистая;
3-й тип – бурая, деструктивная, трухлявая;
4-й тип – умеренная, мягкая, плесневая.

Для анализа трофической принадлежности афиллофороидных грибов к субстрату применена классификация А. Е. Коваленко [15] и Л. Г. Буровой [8], [9], согласно которой выделяют следующие обозначения: 1. Сапротрофы на опаде (Fd); 2. Сапротрофы на подстилке (St); 3. Гумусовые сапротрофы (Hu); 4. Сапротрофы на разрушенной древесине (Lep); 5. Сапротрофы на неразрушенной древесине (Lei); 6. Паразиты (Le); 7. Сапротрофы на погребенной древесине (Lh); 8. Копротрофы (E); 9. Сапротрофы на мхах (Ms); 10. Карботрофы (C); 11. Симбиотрофы микоризообразователи (Mr); 12. Политрофы (Pt).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

До настоящего времени изучение афиллофороидных грибов в лесных экосистемах Водлозерья носило преимущественно кратковременный эпизодический характер. Первые исследования биоты афиллофороидных грибов в районе р. Новгуда были проведены R. Penttilä и H. Kotiranta в 1994 году. На территории Водлозерья ими было выявлено 83 вида трутовых грибов [44]. В процессе дальнейших исследований список ранее выявленных на территории Водлозерья афиллофороидных грибов значительно пополнился новыми видами в результате сборов, проведенных в 2005 году в окрестностях кордонов Пильмасозеро, Гавручей и турбазы «Охтома» на 6 постоянных пробных площадях и 2 пробных площадях на участках ветровала 2000 года, а также в результате анализа гербарных образцов Ботанического музея университета г. Хельсинки, в результате чего на территории Водлозерья в 2006 году было отмечено 177 видов, относящихся к 91 роду, из

которых 38 афиллофороидных грибов являются индикаторными видами для старых и очень старых лесов, а 12 видов относятся к числу редких [21].

В результате дальнейших проведенных исследований [12], [13] установлено, что в лесных экосистемах Водлозерья зарегистрировано 205 видов афиллофороидных грибов, относящихся к 97 родам, 35 семействам и 12 порядкам.

Наибольшее количество видов афиллофороидных грибов отмечено на *Picea abies* (85 видов) и на *Populus tremula* (44 вида). По одному виду зарегистрировано на *Malus sylvesrtis* и *Juniperus communis*. 17 видов растут на почве. 2 вида отмечено на плодовых телах грибов. Среди 125 видов, приуроченных исключительно к хвойным породам, 75 отмечены исключительно на ели, 14 – на сосне, 3 – на лиственнице, то есть являются стенотрофами.

Из 153 видов на лиственных видах древесных растений тенденцию к узкой специализации проявляют: на березе повислой – 10 видов; на березе пушистой – 10 видов; на ольхе – 6 видов; на осине – 18 видов; на рябине – 3 вида; на иве – 3 вида. Среди эвритрофов, заселяющих наибольшее количество видов древесных растений (3 и более субстратов), следует отметить:

1) *Basidioradulum radula* (3 субстрата);
2) *Cerrena unicolor* (3 субстрата);
3) *Corticium roseum* (3 субстрата);
4) *Daedaleopsis confragosa* (5 субстратов);
5) *Daedaleopsis septentrionalis* (3 субстрата);
6) *Fomitopsis pinicola* (5 субстратов);
7) *Gloeophyllum sepiarium* (3 субстрата);
8) *Gloeoporus dichrous* (3 субстрата);
9) *Hapalopilus rutilans* (3 субстрата);
10) *Oxyporus corticola* (4 субстрата);
11) *Phanerochaete sanguinea* (4 субстрата);
12) *Phellinus conctatus* (3 субстрата);
13) *Phellinus lundellii* (4 субстрата);
14) *Phellinus igniarius* (4 субстрата);
15) *Phellinus punctatus* (3 субстрата);
16) *Phaeolus schweinitzii* (2 древесных субстрата и почва);
17) *Polyporus ciliatus* (3 субстрата);
18) *Pycnoporus cinnabarinus* (3 субстрата);
19) *Trametes hirsuta* (4 субстрата);
20) *Trametes ochracea* (3 субстрата);
21) *Trametes pubescens* (3 субстрата);
22) *Trametes trogii* (3 субстрата).

Таким образом, в лесных экосистемах Водлозерья отмечено 22 вида-эвритрофа.

Наибольшее количество видов афиллофороидных грибов относится к группе сапротрофов на неразрушенной древесине (Lei), вызывающих 2-й тип гнили. Из них на хвойных породах зарегистрировано 40 видов афиллофороидных гименомицетов, а на лиственных – 58 видов. Среди сапротрофов на неразрушенной древесине, вызывающих 2-й тип гнили, *Chondrostereum purpureum*, *Phanerochaete sanguinea*, *Phlebiella sulphurea*, *Resinicium bicolor* и *Skeletocutis odora* отмечены как на хвойных, так и на лиственных породах. Среди сапротрофов на неразрушенной древесине, вызывающих 3-й тип гнили, зарегистрированным как на хвойных, так и на лиственных породах является *Gloeophyllum sepiarium*. Среди сапротрофов на разрушенной древесине (Lep) преобладают виды афиллофороидных базидиомицетов, вызывающие 2-й тип гнили (из них на хвойных породах отмечено 8 видов, а на лиственных – 16 видов). *Antrodiella faginea* и *Athelia decipiens* растут на плодовых телах грибов. *Antrodia heteromorpha* – сапротроф на разрушенной древесине вызывает 3-й тип гнили. Гриб отмечен на *Betula pendula* и *Larix sibirica*. Среди паразитов преобладают афиллофороидные макромицеты, вызывающие 2-й тип гнили (из них на хвойных породах отмечено 5 видов, а на лиственных – 10 видов). Среди паразитов, вызывающих 2-й тип гнили, зарегистрированным как на хвойных, так и на лиственных породах будет *Fomitopsis pinicola*. Особые группы представляют напочвенные грибы: гумусовые (Hu) и симбиотрофы, или микоризообразователи (Mr) (17 видов). Они представлены видами родов: *Albatrellus*, *Bankera*, *Cantharellus*, *Clavariadelphus*, *Coltricia*, *Hydnum*, *Ramaria* и др.

При анализе типов гнилей установлено, что 2 вида афиллофороидных макромицета вызывают 1-й тип, 150 видов – 2-й тип и 53 вида – 3-й тип гнили.

В лесных экосистемах Водлозерья преобладают виды афиллофороидных макромицетов, вызывающих белую, коррозионно-деструктивную, трухляво-волокнистую гниль (2-й тип) (73,1 %). На долю грибов, вызывающих бурую, деструктивную, трухлявую гниль (3-й тип), приходится 25,9 % и на долю грибов, вызывающих пеструю, коррозионную, губчато-волокнистую гниль (1-й тип), – 1 %. Грибы, вызывающие 4-й тип гнили, не обнаружены. Таким образом, по процентному соотношению типов гнили изучаемая биота афиллофороидных грибов в лесных экосистемах Водлозерья характерна для таежной зоны.

Видовое разнообразие афиллофороидных макромицетов в лесных экосистемах Водлозерья представлено в таблице.

Видовое разнообразие афиллофороидных макромицетов в лесных экосистемах Водлозерья

Вид гриба	Лесные экосистемы					
	1	2	3	4	5	6
1. Albatrellus confluens	+	+			+	+
2. Albatrellus ovinus	+		+		+	+
3. Amphinema byssoides	+				+	
4. Amylocystis lapponica	+				+	+
5. Antrodia albobrunnea	+				+	
6. Antrodia crassa	+				+	
7. Antrodia heteromorpha			+		+	
8. Antrodia infirma	+				+	
9. Antrodia mellita			+	+	+	+

Продолжение таблицы

	1	2	3	4	5	6
10. Antrodia primaeva	+				+	
11. Antrodia pulvinascens	+			+	+	+
12. Antrodia serialis	+		+		+	+
13. Antrodia sinuosa	+	+			+	+
14. Antrodia sitchensis	+				+	
15. Antrodia xantha	+	+			+	+
16. Antrodiella citrinella	+				+	+
17. Antrodiella faginea	+				+	
18. Antrodiella romellii			+			+
19. Antrodiella semisupina			+		+	
20. Aporpium caryae			+		+	
21. Asterodon ferruginosus	+				+	+
22. Athelia decipiens	+				+	
23. Bankera fuligineoalba	+				+	
24. Basidioradulum radula	+		+			+
25. Bjerkandera adusta	+		+	+	+	+
26. Botryobasidium botryosum	+				+	
27. Botryobasidium laeve	+				+	
28. Botryobasidium subcoronatum	+				+	
29. Botryohypochnus isabellinus	+				+	
30. Cantharellus cibarius	+		+		+	+
31. Ceraceomyces serpens	+				+	
32. Cerrena unicolor	+		+		+	+
33. Ceriporia reticulata			+			+
34. Ceriporiopsis aneirina			+		+	
35. Ceriporiopsis mucida	+				+	
36. Ceriporiopsis pannocincta			+		+	
37. Ceriporiopsis resinascens	+				+	
38. Ceriporiopsis subvermispora	+				+	
39. Chondrostereum purpureum	+		+		+	+
40. Clavariadelphus fistulosus	+				+	
41. Clavariadelphus pistillaris				+	+	
42. Clavicorona pyxidata	+				+	
43. Climacocystis borealis	+	+			+	+
44. Coltricia perrenis	+		+		+	+
45. Conferticium ochraceum	+				+	
46. Coniophora arida	+				+	
47. Coniophora olivacea	+				+	
48. Corticium roseum	+			+	+	+
49. Creolophus cirrhatus	+				+	
50. Crustoderma dryinum	+				+	
51. Cylindrobasidium laeve	+					+
52. Cystostereum murraii	+				+	
53. Daedaleopsis confragosa	+		+	+	+	+
54. Daedaleopsis confragosa F. rubescens			+			+
55. Daedaleopsis septentrionalis	+		+		+	+
56. Daedaleopsis tricolor			+			+
57. Datronia mollis	+			+	+	+
58. Dichomitus squalens		+			+	
59. Dichostereum borealis	+				+	
60. Diplomitoporus crustulinus	+				+	
61. Diplomitoporus flavescens		+			+	+
62. Fistulina hepatica			+		+	
63. Fomes fomentarius	+	+	+	+	+	+
64. Fomitopsis pinicola	+	+	+	+	+	+
65. Fomitopsis rosea	+				+	+
66. Ganoderma lipsiense	+		+	+	+	+
67. Ganoderma lucidum				+		+

Продолжение таблицы

	1	2	3	4	5	6
68. Gloeophyllum sepiarium	+	+	+	+	+	+
69. Gloeophyllum odoratum	+				+	+
70. Gloeophyllum protractum	+					+
71. Gloeoporus dichrous		+			+	+
72. Gloeoporus taxicola	+				+	+
73. Gloiodon strigosus	+				+	
74. Hapalopilus rutilans			+	+	+	+
75. Hapalopilus aurantiacus	+				+	
76. Haploporus odorus				+		+
77. Hericium coralloides	+				+	
78. Heterobasidion annosum	+				+	+
79. Heterobasidion parviporum	+				+	
80. Hydnellum aurantiacum	+	+			+	+
81. Hydnellum ferrugineum	+	+			+	+
82. Hydnellum suaveolens		+			+	
83. Hydnum repandum	+				+	+
84. Hydnum rufescens	+				+	
85. Hymenochaete fuliginosa	+				+	
86. Hymenochaete tabacina			+			+
87. Hyphoderma argillaceum			+		+	
88. Hypodontia abieticola			+			+
89. Hyphodontia radula	+				+	+
90. Hyphodontia pallidula	+				+	
91. Inonotus obliquus	+		+		+	+
92. Inonotus radiatus				+		+
93. Inonotus rheades	+			+	+	+
94. Ischnoderma benzonium	+				+	+
95. Junghuhnia collabens	+				+	
96. Junghuhnia luteoalba	+				+	
97. Lenzites betulina	+		+		+	+
98. Leptoporus mollis	+				+	
99. Leucogyrophana romellii		+				+
100. Onnia leporina	+				+	+
101. Onnia tomentosa	+				+	
102. Oligoporus caesius	+				+	
103. Oligoporus fragilis		+				+
104. Oligoporus guttulatus	+		+		+	+
105. Oligoporus hibernicus	+				+	
106. Oligoporus lateritius	+					+
107. Oligoporus placentus	+				+	
108. Oligoporus sericeomollis	+				+	
109. Oligoporus stipticus	+				+	
110. Oligoporus subcaesius	+					+
111. Oxyporus corticola	+	+	+	+	+	+
112. Oxyporus populinus	+		+	+	+	+
113. Parmastomyces transmutans	+				+	
114. Peniophora polygonia	+					+
115. Perenniporia subacida	+				+	+
116. Phanerochaete laevis	+				+	
117. Phanerochaete sanguinea	+		+		+	+
118. Phellinus chrysoloma	+				+	+
119. Phellinus cinereus		+			+	+
120. Phellinus conctatus	+	+	+	+	+	+
121. Phellinus ferrugineofuscus	+				+	+
122. Phellinus ferruginosus			+			+
123. Phellinus laevigatus					+	+
124. Phellinus lundellii	+		+	+	+	+
125. Phellinus laricis	+				+	

Продолжение таблицы

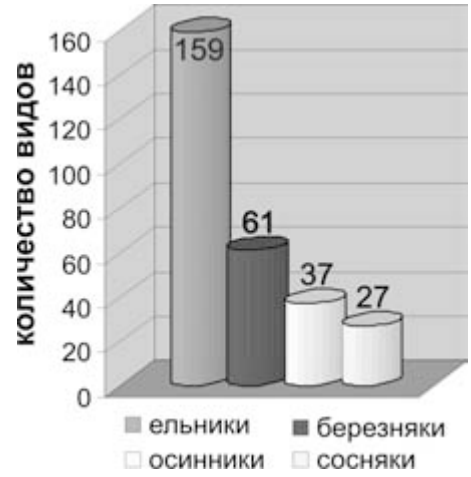
	1	2	3	4	5	6
126. Phellinus nigricans	+				+	
127. Phellinus nigrolimitatus	+				+	+
128. Phellinus igniarius	+		+		+	+
129. Phellinus pini	+	+			+	+
130. Phellinus populicola	+		+	+	+	+
131. Phellinus punctatus	+		+	+	+	+
132. Phellinus tremulae	+		+	+	+	+
133. Phellinus viticola	+	+	+		+	+
134. Phaeolus schweinitzii	+	+			+	+
135. Phellodon tomentosus		+			+	
136. Phlebiopsis gigantea	+	+			+	+
137. Phlebia centrifuga	+				+	
138. Phlebia radiata			+			+
139. Phlebia rufa				+		+
140. Phlebia tremellosa	+				+	
141. Phlebiella sulphurea	+				+	
142. Pleurotus pulmonaris			+	+		+
143. Piloderma bicolor	+				+	
144. Piptoporus betulinus	+		+		+	+
145. Polyporus badius	+				+	+
146. Polyporus ciliatus	+				+	+
147. Polyporus melanopus			+	+	+	+
148. Polyporus squamosus	+			+	+	+
149. Polyporus pseudobetulinus				+	+	
150. Polyporus tubaeformis				+		+
151. Polyporus varius var. elegans				+		+
152. Polyporus varius var. varius	+			+	+	+
153. Polyporus varius var. nummularis	+				+	
154. Porotheleum fimbriatum	+				+	
155. Pseudotomentella mucidula	+				+	
156. Pycnoporus cinnabarinus	+		+		+	+
157. Pycnoporellus fulgens	+				+	+
158. Radulodon erikssonii				+	+	
159. Ramaria aurea		+				+
160. Ramaria flava	+				+	
161. Resinicium bicolor	+				+	
162. Resinicium furfuraceum	+				+	
163. Rigidoporus crocatus			+		+	
164. Serpula himantioides	+				+	
165. Sistotrema raduloides	+				+	
166. Sistotremastrum niveocremeum	+				+	
167. Sistotremastrum suecicum	+				+	
168. Skeletocutis amorpha	+	+			+	
169. Skeletocutis brevispora	+				+	+
170. Skeletocutis chrysella	+				+	
171. Skeletocutis kuehneri	+				+	
172. Skeletocutis lenis	+				+	+
173. Skeletocutis odora	+				+	+
174. Skeletocutis papyracea	+				+	
175. Skeletocutis stellae	+				+	+
176. Skeletocutis subincarnata	+				+	
177. Scytinostroma galactinum			+		+	
178. Spongipellus spumeus				+		+
179. Steccherinum fimbriatum	+				+	
180. Steccherinum ochraceum	+				+	+
181. Stereum hirsutum	+		+		+	+
182. Stereum sanguinolentum	+				+	
183. Stereum subtomentosum	+				+	

Окончание таблицы

	1	2	3	4	5	6
184. Thellephora terrestris	+	+			+	+
185. Tomentella cinerascens	+				+	
186. Tomentella lapida	+				+	
187. Tomentella stuposa	+				+	
188. Tomentella subclavigera	+				+	
189. Tomentella sublilacina	+				+	
190. Tomentella terrestris	+				+	
191. Tyromyces fissilis				+	+	
192. Trametes gibbosa			+		+	
193. Trametes hirsuta			+	+	+	+
194. Trametes ochracea	+		+	+	+	+
195. Trametes pubescens	+		+		+	+
196. Trametes suaveolens				+		+
197. Trametes trogii	+		+		+	+
198. Trametes velutina	+		+		+	+
199. Trametes versicolor			+			+
200. Trechispora mollusca	+				+	
201. Trichaptum abietinum	+	+	+	+	+	+
202. Trichaptum fusco-violaceum	+				+	
203. Trichaptum laricinum	+		+		+	+
204. Trichaptum pargamenum	+		+		+	+
205. Veluticeps abietina	+				+	+
Итого	159	27	61	37	178	111

Примечание: 1 – ельники; 2 – сосняки; 3 – березняки; 4 – осинники; 5 – континентальные лесные экосистемы; 6 – островные лесные экосистемы.

Из приведенных в таблице данных можно сделать вывод, что подавляющее количество афиллофороидных грибов отмечено в ельниках (159 видов), что согласуется с данными исследований В. А. Ананьева, Б. В. Раевского и С. И. Грабовика [1], [2], поскольку ельники составляют 50,2 % от всех лесов Водлозерья, а доля *Picea abies* в общем лесном покрытии – 54 %. Соотношение видов в группах типов леса показано на рисунке.



Соотношение видов афиллофороидных грибов в группах типов леса

Из полученных данных (рисунок) видно, что в березняках отмечен 61 вид афиллофороидных базидиомицетов, в осинниках – 37 видов и в сосняках – 27 видов. Среди ельников преобладают ельники черничные – *Piceetum myrtillosum*; среди сосняков – сосняки брусничные (*Pinetum vacciniosum*).

Биологическое разнообразие афиллофороидных грибов выше в континентальных лесных экосистемах – 178 видов, в то время как на островах отмечено 111 видов. 84 вида являются общими, встречающимися как в островных, так и в континентальных экосистемах. Для сравнения биоты афиллофороидных грибов в континентальных и островных экосистемах был использован коэффициент Жаккара:

$$K = C / (A + B) – C,$$

где A – число видов в континентальных экосистемах; B – число видов в островных экосистемах; C – число общих видов, имеющихся в континентальных и островных экосистемах. В результате мы имеем:

$$K = 84 / (178 + 111) – 84 = 0,4.$$

Полученный результат, K = 0,4, возможно, может быть объяснен следующими причинами.

1) Биологическое разнообразие афиллофороидных грибов в лесных экосистемах Водлозерья на континенте выше, чем на островах, так как проникновению грибов с материка мешает пространственная или физико-географическая изоляция. Физико-географическими преградами могут быть горные хребты, крупные пресноводные водоемы и моря, пустыни, леса и т. п. [14]. Естественной водной преградой служит оз. Водлозеро, и, следовательно, естественные ареалы распространения многих видов афиллофороидных грибов проходят вдоль его границы. В то же время на самих островах отмечено 27 видов, которые не зарегистрированы в континентальных экосистемах вокруг оз. Водлозеро.

2) Многие островные экосистемы длительное время до середины XX подвергались антропогенному влиянию, так как на островах располагались деревни, производились интенсивные рубки леса (а на некоторых островах рубки продолжаются до сих пор), разрабатывались пашни и сенокосы, осуществлялся выпас скота. Континентальные экосистемы такому сильному воздействию не подвергались. В результате в настоящее время на многих островах Водлозерья доминируют вторичные лесные экосистемы, березняки и осинники, повсеместно распространены луга и пастбища, вдоль побережья произрастают ольха серая, рябина обыкновенная, ива козья, береза повислая и береза пушистая. В таких экосистемах видовой состав афиллофороидных грибов сильно обеднен и, как правило, представлен широко распространенными видами. Старовозрастные хвойные леса сохранились на очень немногих островах Водлозерья. В континентальных лесных старовозрастных экосистемах видовое разнообразие афиллофороидных грибов гораздо выше. Данная точка зрения согласуется с мнением большинства авторитетных ученых в области экологии грибов, поскольку к настоящему времени сложилось мнение, что афиллофороидные грибы являются перспективным объектом при оценке антропогенного влияния на лесные экосистемы [11], [25], [29], [4]. В лесных биогеоценозах с усилением антропогенного воздействия и, в первую очередь, рекреационной нагрузки увеличивается общее число ослабленных и больных деревьев, в том числе пораженных гнилью [20]. Их видовой состав в лесах, подверженных антропогенному воздействию, сильно обеднен, при этом происходит замещение чувствительных видов широко распространенными видами – эвритрофами. Наибольшее видовое разнообразие характерно для старых, естественных, мало затронутых интенсивной хозяйственной деятельностью лесных экосистем (в нашем случае это континентальные экосистемы), что в значительной степени связано с наличием здесь подходящего субстрата и микроклиматических условий, благоприятствующих произрастанию редких видов [38], [27], [26], [34].

Коренные леса, не испытывающие антропогенных воздействий, являются эталонами эволюционно развивающихся сообществ, в которых функции саморегуляции направлены на оптимизацию всех ценотических структур, в том числе и комплексов афиллофороидных грибов. Любые изменения структур фитоценозов влекут за собой изменения в грибных сообществах и частичную (или полную) потерю устойчивости в экосистеме. В результате антропогенной трансформации микоценозов меняется не только их видовое богатство, но и происходит перераспределение биоценотической значимости видов вплоть до полной смены комплексов доминантных видов [31], [33]. В то же время только на островах отмечены такие редкие виды, как *Ganoderma lucidum*, *Gloeophyllum protractum*, *Haploporus odorus* и др. Заметим, что данный вопрос является дискуссионным и требует дальнейшего всестороннего изучения. На территории Водлозерья выявлены краснокнижные виды: *Hericium coralloides* [17], [18], в настоящее время занесен в Красную книгу Республики Карелия [19] со статусом 3 (NT); *Hydnum repandum* – был включен в Красную книгу Карелии [18] со статусом 4 (I), но в настоящее время из Красной книги Республики Карелия снят [19]; *Clavariadelphus pistillaris* [18], [19] – со статусом 3 (VU); *Polyporus pseudobetulinus*, занесенный в Красную книгу Восточной Фенноскандии [41] и Красную книгу Республики Карелия [19] со статусом 2 (EN). В Красную книгу Республики Карелия [19] также занесены следующие виды афиллофороидных грибов, найденные на территории Водлозерья: *Antrodia crassa* 2 (EN), *Antrodia mellita* 3 (VU), *Antrodia*

primaeva 3 (VU), *Antrodia pulvinascens* 3 (VU), *Antrodiella citrinella* 3 (VU), *Dichomitus squalens* 3 (NT), *Ganoderma lucidum* 3 (VU), *Gloeophyllum protractum* 3 (NT), *Gloiodon strigosus* 3 (VU), *Junghuhnia collabens* 3 (VU), *Haploporus odorus* 3 (VU), *Leptoporus mollis* 3 (NT), *Oligoporus hibernicus* 3 (NT), *Parmastomyces transmutans* 3 (VU), *Radulodon erikssonii* 3 (VU), *Rigidoporus crocatus* 3 (VU), *Skeletocutis lenis* 3 (VU), *Tyromyces fissilis* 3 (VU). В результате наших сборов на территории Водлозерья были отмечены новые места произрастания видов афиллофороидных грибов в Республике Карелия: *Antrodia mellita*, *Antrodia pulvinascens*, *Antrodiella citrinella*, *Dichomitus squalens*, *Ganoderma lucidum*, *Gloeophyllum protractum*, *Haploporus odorus*, *Hericium coralloides*, *Parmastomyces transmutans*, *Skeletocutis lenis*. Полученные данные послужили основой для того, чтобы эти виды были включены в Красную книгу Республики Карелия [19]. В процессе научной стажировки с 29 октября по 4 ноября 2007 года в Finnish Environment Institute и Helsinki University Botanical Museum под руководством докторов R. Penttilä и H. Kotiranta был проанализирован видовой состав афиллофороидных макромицетов Водлозерья и Финляндии и сделаны выводы о расширении списка редких видов с учетом информации об их распространении в Карелии, России и Европе [7], [5], [24], [30], [39], [40]. Основываясь на авторитетном мнении этих специалистов, в Красную книгу Республики Карелия можно предварительно рекомендовать включить еще дополнительно 20 видов афиллофороидных грибов. Следует отметить, что приведенный ниже список может корректироваться по мере поступления новых данных о биологии и экологии афиллофороидных грибов.

ВИДЫ, РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ДЛЯ ВКЛЮЧЕНИЯ В КРАСНУЮ КНИГУ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ

1. *Antrodia infirma* – р. Новгуда. На территории Российской Федерации вид ранее не был отмечен [6]. На территории Финляндии является очень редким видом [30], [40]. В Карелии редкий вид отмечен в Калевальском и Пудожском районах [24]. Вид является индикатором для девственных хвойных лесов [30], [16], [21], [39], [40]. Рекомендуется включить данный вид в Красную книгу Республики Карелия со статусом 3 (VU).

2. *Antrodia sitchensis* – кордон Пильмасозеро. В Финляндии очень редок на всей территории, немного заходит на север [30], [40]. В Республике Карелия является редким видом (отмечен в Костомукшском и Пудожском районах, а также в заповеднике «Кивач»), нуждающимся в мониторинге, так как до недавнего времени не был найден в России [6], [24], [21]. Рекомендуется включить данный вид в Красную книгу Республики Карелия со статусом 4 (DD).

3. *Antrodiella faginea* – р. Новгуда. На территории Финляндии и в Республике Карелия является редким, малоизученным видом [30], [40]. Поскольку он впервые найден на территории Республики Карелия [21], то рекомендуется включить данный вид в Красную книгу Республики Карелия со статусом 4 (DD).

4. *Antrodiella romellii* – о. Ильинский погост. Поскольку данный вид второй раз найден на территории Республики Карелия (единственная находка до этого была сделана в Кондопожском районе [24]), то рекомендуется включить этот вид в Красную книгу Республики Карелия со статусом 4 (DD).

5. *Conferticium ochraceum* – национальный парк «Водлозерский». До этого в Карелии была единичная находка в Костомукшском районе [24]. Поскольку сведений о его местонахождении в Карелии недостаточно, то рекомендуется включить его в Красную книгу Республики Карелия со статусом 4 (DD).

6. *Ceriporiopsis mucida* – р. Новгуда. Повсеместно встречается в регионах Российской Федерации [5]. На территории Карелии отмечен в Кондопожском и Пудожском районах. Поскольку данный вид на территории Республики Карелия является редким [21], а сведений о его распространении недостаточно, то рекомендуется включить его в Красную книгу Республики Карелия со статусом 4 (DD).

7. *Ceriporiopsis subvermispora* – р. Новгуда. Поскольку данный вид на территории Республики Карелия является редким, единственная находка на территории Водлозерья [24], [21], а сведений о его распространении недостаточно, то рекомендуется включить этот вид в Красную книгу Республики Карелия со статусом 4 (DD).

8. *Diplomitoporus crustulinus* – р. Новгуда. На территории Российской Федерации является редким видом [5]. В Финляндии – редкий северный вид. В Карелии является редким видом, отмечен в Лоухском, Калевальском, Костомукшском, Пудожском районах и Национальном парке «Паанаярви» [24]. Вид является индикатором для девственных хвойных лесов [30], [16], [21], [39], [40]. Данный вид может рассматриваться как реликтовый [16; 119–126]. Рекомендуется включить его в Красную книгу Республики Карелия со статусом 3 (VU).

9. *Diplomitoporus flavescens* – о. Колгостров, тропа Новгуда – Варишпельда, р. Новгуда. В России встречается на видах рода *Pinus*, редок [5]. В Финляндии является очень редким видом [30], [40]. Поскольку данный вид является редким на территории Республики Карелия, единичная находка на территории Водлозерского национального парка [24], [21], то рекомендуется включить этот вид в Красную книгу Республики Карелия со статусом 3 (VU).

10. *Fistulina hepatica* – р. Вама. В Финляндии является очень редким видом [30], [40]. Единственная находка на территории Республики Карелия. Рекомендуется включить его в Красную книгу Республики Карелия со статусом 3 (VU).

11. *Hapalopilus aurantiacus* – р. Сухая Водла. Гриб имеет широкое географическое распространение, но встречается редко, преимущественно в лесах. Желтовато-оранжевая окраска базидиомы и реакция с КОН служат отличительными признаками гриба в природе [5]. Поскольку на территории Карелии данный вид считается редким, отмечен в Калевальском и Костомукшском районах [24], то рекомендуется включить данный вид в Красную книгу Республики Карелия со статусом 4 (DD).

12. *Oligoporus lateritius* – о. Ильинский погост. Недавно описанный вид, о распространении которого нет точных данных на территории Российской Федерации. Отмечен в Карелии, Норвегии, Швеции, Финляндии [5]. На территории Финляндии и Карелии является редким северным видом, в девственных лесах Лапландии встречается только в единичных местах [30], [40]. В Карелии отмечен в Калевальском, Костомукшском, Пудожском районах [24]. Является индикаторным видом для старовозрастных хвойных лесов [16], [21], [39]. Рекомендуется включить данный вид в Красную книгу Республики Карелия со статусом 3 (VU).

13. *Onnia tomentosa* – р. Вама. В СССР являлся редким видом [7]. В Финляндии и на прилегающей территории России – очень редким южным видом [30], [40]. В Республике Карелия встречается редко, отмечен в Сортавальском районе и на о. Валаам [24]. Рекомендуется включить данный вид в Красную книгу Республики Карелия со статусом 3 (LC).

14. *Perenniporia subacida* – о. Великостров, р. Новгуда. На территории Российской Федерации является редким видом [5]. В Финляндии очень редок, чаще встречается на севере [30], [40]. В Республике Карелия является редким видом, отмечен в Калевальском, Костомукшском, Медвежьегорском, Пудожском, Сортавальском районах [24]. Является индикаторным видом для старовозрастных хвойных лесов [16], [21], [39]. Рекомендуется включить данный вид в Красную книгу Республики Карелия со статусом 3 (VU).

15. *Phellinus ferruginosus* – о. Колгостров. Особенно распространен в широколиственных лесах Кавказа, но продвигается на север до Ленинградской области и Прибалтики [24]. В Финляндии и на прилегающей территории России считается очень редким южным видом [30], [40]. В Карелии встречается редко. Отмечен в Кондопожском районе и заповеднике «Кивач» [24]. Поскольку сведений о его распространении в Республике Карелия недостаточно, то рекомендуется включить данный вид в Красную книгу Республики Карелия со статусом 4 (DD).

16. *Phellinus laricis* – р. Сухая Водла. На территории Финляндии было сделано всего две находки, а также обнаружен в Вепсском лесу в области Санкт-Петербурга [30], [40]. Единственная находка на территории Республики Карелия. Поскольку сведений о его распространении в Республике Карелия недостаточно, то рекомендуется включить данный вид в Красную книгу Республики Карелия со статусом 4 (DD).

17. *Polyporus tubaeformis* – о. Колгостров. В России до 1998 года был неизвестен. Отмечен в Норвегии, Швеции, Финляндии [5]. Впервые зарегистрирован на территории России в Лоухском районе Республики Карелия – единичная находка [24]. Поскольку сведений о его распространении недостаточно, то рекомендуется включить данный вид в Красную книгу Республики Карелия со статусом 4 (DD).

18. *Porotheleum fimbriatum* – турбаза «Охтома». Распространен в Европе, Северной Америке, на Кавказе, Урале, в Сибири. В Карелии до этого был известен только в Кондопожском районе и в заповеднике «Кивач» [24]. В Карелии является редким видом [21]. Поскольку сведений о его распространении недостаточно, то рекомендуется включить данный вид в Красную книгу Республики Карелия со статусом 4 (DD).

19. *Pseudotomentella mucidula* – Водлозерье. Поскольку гриб отмечен впервые в Республике Карелия [22], то рекомендуется включить данный вид в Красную книгу Республики Карелия со статусом 4 (DD).

20. *Skeletocutis chrysella* – Бостилово, турбаза «Охтома», тропа Новгуда – Варишпельда, р. Новгуда. В Финляндии является редким северным видом [30], [40]. До настоящего исследования было отмечено всего 2 находки на территории Карелии в Калевальском и Пудожском районах [24]. Поскольку сведений о его распространении недостаточно, то рекомендуется включить данный вид в Красную книгу Республики Карелия со статусом 4 (DD).

3) В процессе научных экспедиций были исследованы лишь самые крупные острова оз. Водлозера, а всего их насчитывается 150 [37]. Следовательно, в результате дальнейших исследований список видов афиллофороидных грибов, встречающихся на островах, может быть расширен.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета по науке и высшей школы г. Санкт-Петербурга и Конкурсного центра фундаментального естествознания Министерства образования Российской Федерации (грант № МО4-2.6Д-381).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ананьев В. А., Раевский Б. В., Грабовик С. И. Организация лесного мониторинга в коренных еловых лесах национального парка «Водлозерский» // Национальный парк «Водлозерский»: природное разнообразие и культурное наследие. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. С. 117–122.

2. Ананьев В. А., Раевский Б. В., Грабовик С. И. Коренные еловые леса Национального парка «Водлозерский»: структура, динамика и состояние // Водлозерские чтения: Естественнонаучные и гуманитарные основы природоохранной, научной и просветительской деятельности на охраняемых природных территориях Русского Севера: Материалы научно-практической конференции, посвященной 15-летию Национального парка «Водлозерский». Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. С. 88–93.
3. Антипин В. К. Болота Национального парка «Водлозерский»: разнообразие, мониторинг, использование // Структура и динамика природных экосистем и формирование народной культуры на территории НП «Водлозерский»: Материалы отчетной конференции о научной деятельности НП «Водлозерский» по итогам 2002–2004 гг. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С. 26–30.
4. Арефьев С. П. Трансформация биоты в импактных зонах городов Тюменского Севера и ее использование в биоиндикации // 3-я международная конференция «Освоение Севера и проблемы рекультивации». Сыктывкар, 1996. С. 8–9.
5. Бондарцева М. А. Определитель грибов России. Порядок афиллофоровые. СПб.: Наука, 1998. Вып. 2. 391 с.
6. Бондарцева М. А. Эколого-биологические закономерности функционирования ксилотрофных базидиомицетов в лесных экосистемах // Грибные сообщества лесных экосистем: Материалы координационных исследований. М.; Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2000. С. 9–25.
7. Бондарцева М. А., Пармасто Э. Х. Определитель грибов СССР. Порядок афиллофоровые. Л.: Наука, 1986. Вып. 1. 192 с.
8. Бурова Л. Г. Экология грибов макромицетов. М.: Наука, 1986. 221 с.
9. Бурова Л. Г. Экология макромицетов. М.: Наука, 1986. 24 с.
10. Вакин А. Т., Полубояринов О. И., Соловьев В.А. Альбом пороков древесины. М.: Лесная промышленность, 1969. 78 с.
11. Жлоба Н. М. О возможностях оценки загрязнения лесных экосистем по микологическим показателям // Биомониторинг лесных экосистем: Материалы междунар. школы-семинара. Каунас, 1987. С. 164–165.
12. Заводовский П. Г. Субстратная специализация афиллофороидных грибов в лесных экосистемах Водлозерья // Вопросы современной науки и практики / Университет им. В. И. Вернадского. 2007. № 4 (10). Т. 1. С. 220–223.
13. Заводовский П. Г. Эколого-трофические группы афиллофороидных грибов в лесных экосистемах Водлозерья // Materiály IV mezinărodni vědecko-praktiká conference «Evropská věda XXI stoleti-2008». Dil 13. Praha: Publishing House «Education and Science», 2008. S. 11–12.
14. Ивантер Э. В. Краткий курс зоогеографии. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2006. 84 с.
15. Коваленко А. Е. Экологический обзор грибов из порядков *Polyporales* s. str, *Boletales*, *Agaricales* s. str., *Russulales* в горных лесах центральной части Северо-Западного Кавказа // Микол. и фитопатол. 1980. Т. 14. Вып. 4. С. 300–314.
16. Коткова В. М., Бондарцева М. А., Крутов В. И. Афиллофороидные грибы // Разнообразие биоты Карелии: условия формирования, сообщества, виды. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. С. 119–126.
17. Красная книга РСФСР. Растения. М., 1988. 591 с.
18. Красная книга Карелии / Науч. ред. Э. В. Ивантер, О. Л. Кузнецов. Петрозаводск: Изд-во «Карелия», 1995. 286 с.
19. Красная книга Республики Карелия / Науч. ред. Э. В. Ивантер, О. Л. Кузнецов. Петрозаводск: Изд-во «Карелия», 2007. 368 с.
20. Крутов В. И., Кивиниеми С. Н., Тимофеев А. В. К лесопатологической характеристике рекреационных насаждений о. Валаам // Природные комплексы Валаама и воздействие на них рекреации. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1983. С. 93–100.
21. Крутов В. И., Коткова В. М., Руоколайнен А. В., Заводовский П. Г. Предварительные результаты изучения биоты афиллофороидных грибов Национального парка «Водлозерский» // Водлозерские чтения: Естественнонаучные и гуманитарные основы природоохранной, научной и просветительской деятельности на охраняемых природных территориях Русского Севера: Материалы научно-практической конференции, посвященной 15-летию Национального парка «Водлозерский». Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. С. 118–124.
22. Крутов В. И., Шубин В. И. Составление гербария грибов // Методы полевых и лабораторных исследований растений и растительного покрова. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2001. С. 11–24.
23. Лантратова А. С., Овчинникова Е. А. Определитель деревьев и кустарников Карелии. Петрозаводск: Изд-во «Карелия», 1978. 158 с.
24. Лосицкая В. М. Афиллофоровые грибы Республики Карелия: Автореф. дис. … канд. биол. наук. СПб., 1999. 23 с.
25. Маркелов А. В., Минеева Н. Я., Гордиенко П. В. Грибы в системе биоиндикации радиационных нагрузок // Биоиндикация и мониторинг. М., 1991. С. 129–139.
26. Марфенина О. Е. Антропогенная экология почвенных грибов. М.: «Медицина для всех», 2005. 196 с.
27. Мухин В. А. Биота ксилотрофных базидиомицетов Западно-Сибирской равнины. Екатеринбург, 1993. 231 с.
28. Мухин В. А. Полевой определитель трутовых грибов. Екатеринбург, 1997. 104 с.
29. Научные основы устойчивости лесов к дереворазрушающим грибам / В. Г. Стороженко, М. А. Бондарцева, В. А. Соловьев, В. И. Крутов. М., 1992. 221 с.
30. Ниемеля Т. Трутовые грибы Финляндии и прилегающей территории России. Хельсинки, 2001. 120 с.
31. Мухин В. А., Веселкин Д. В., Брындина Е. В. и др. Основные закономерности современного этапа эволюции микобиоты лесных экосистем // Грибные сообщества лесных экосистем: Материалы координационных исследований. М.; Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2000. С. 26–36.
32. Раменская М. Л. Определитель высших растений Карелии. Петрозаводск, 1960. 485 с.
33. Стороженко В. Г. Формирование комплексов дереворазрушающих грибов в коренных лесах // Грибы и водоросли в биоценозах: Материалы международной конференции, посвященной 75-летию биологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова. М.: МАКС Пресс, 2006. С. 154–155.
34. Стороженко В. Г. Структура микоценозов устойчивых лесных сообществ // Лесобиологические исследования на Северо-Западе таежной зоны России: итоги и перспективы: Материалы научной конференции, посвященной 50-летию Института леса Карельского научного центра РАН (3–5 октября 2007 г.). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 107–114.
35. Суфиянова Г. Ф., Михайлова В. А. Грибы-макромицеты степных районов Республики Башкортостан // Биология – наука XXI века: 9-я международная Пущинская школа-конференция молодых ученых (18–22 апр. 2005 г.). Пущино: Пущинский научный центр РАН, 2005. С. 307.

36. Червяков О. В. Водлозерский парк: поиск нового формационного пути // Структура и динамика природных экосистем и формирование народной культуры на территории НП «Водлозерский»: Материалы отчетной конференции о научной деятельности НП «Водлозерский» по итогам 2002–2004 гг. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С. 6–14.
37. Хохлова Т. Ю., Антипин В. К., Токарев П. Н. Особо охраняемые природные территории Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2000. 312 с.
38. Юпина Г. А. Дереворазрушающие грибы антропогенных территорий // Изучение грибов в биогеоценозах. IV Всесоюзная конференция. Свердловск, 1988. С. 158.
39. Kotiranta H., Niemelä T. Uhanalaiset käävät Suomessa. Helsinki, 1996. 184 p.
40. Niemelä T. Käävat puiden sienet. Helsinki, 2005. 320 p.
41. Red Data Book of East Fennoskandia / H. Kotiranta, P. Uotila, S. Sulkava et al. Helsinki, 1998. 351 p.
42. Ryvarden L., Gilbertson R. L. European Polypores. Oslo, 1993. Part 1. P. 1–387.
43. Ryvarden L., Gilbertson R. L. European Polypores. Oslo, 1994. Part 2. P. 388–743.
44. Siitonen J., Penttilä R., Kotiranta H. Coarse woody debris, polyporus fungi and saproxylic insects in an old-growth spruce forest in Vodlozero National Park, Russian Karelia // Ecol. Bull. 2001. Vol. 49. P. 231–242.

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ ПЕТРОЗАВОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Сентябрь, № 3 **Биология** **2008**

УДК 581.522.4

АНАСТАСИЯ АНДРЕЕВНА КОРЗУНИНА
аспирант кафедры ботаники и физиологии растений эколого-биологического факультета ПетрГУ
korzunina84@mail.ru

ЕВГЕНИЯ ФЕДОРОВНА МАРКОВСКАЯ
доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой ботаники и физиологии растений эколого-биологического факультета ПетрГУ
botanika@psu.karelia.ru

ОСМОТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ КАК ФАКТОР АДАПТАЦИИ ЗОСТЕРЫ МОРСКОЙ (*Zostera marina* L.) К УСЛОВИЯМ МЕСТООБИТАНИЯ

В статье рассматривается влияние условий произрастания на величину осмотического потенциала клеток листа зостеры морской (Zostera marina L.), произрастающей в Кандалакшском заливе Белого моря. Соленость воды в местах исследования варьируется от 12 до 22 ‰. Диапазон значений осмотического потенциала в этих условиях составил 14–34 кПа. Показано увеличение осмотического потенциала с увеличением солености воды. В статье также обсуждается роль осмотического потенциала в адаптации зостеры к условиям произрастания на литорали.

Ключевые слова: осмотический потенциал, соленость, Zostera marina L.

В настоящее время все больший интерес исследователей вызывает жизнедеятельность организмов, обитающих на стыке морской и континентальной сред. На побережьях морей формируется совершенно особая категория местообитаний, характерной чертой которых является нестабильная соленость. Это маршевые луга, эстуарии рек и ручьев, супралиторальные ванны и ванны верхнего и среднего горизонтов литорали. Нестабильность солености, а также некоторых других гидрохимических показателей в таких водоемах обусловлена главным образом приливно-отливными и штормовыми движениями морской воды, с одной стороны, и влиянием атмосферных процессов – с другой [1]. В результате комбинации этих факторов возникают уникальные, крайне изменчивые во времени условия для развития различных организмов. В отличие от животных организмов, растения не могут изолироваться от этих перемен или поменять свое пространственное положение, а поэтому вынуждены функционировать в переменно ритмичных условиях среды, которые имеют место на литорали. Одним из таких объектов является вторичноводное высшее сосудистое растение – зостера. Широкий спектр ее местообитаний: от литорали (на обсушке береговой линии) до сублиторали на глубине 2–4 м [2] свидетельствует о большом адаптационном потенциале. Однако пути адаптации этого вида к различному уровню солености в Кандалакшской губе Белого моря и переменной суточной солености на литорали во время отлива до настоящего времени не изучены.

Целью работы было оценить роль осмотического потенциала в адаптации зостеры (*Zostera marina* L.) к условиям засоления и градиенту солености в условиях литорали.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Объектом исследования является зостера *(Zostera marina* L.*), взморник морской* – погру-

© Корзунина А. А., Марковская Е. Ф., 2008

женное многолетнее растение. На Белом море зостера произрастает на литорали, выходит также и на сублитораль. В зависимости от рельефа может занимать пояс до 30 м [2].

РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЯ

Работа выполнена в точках, расположенных в Кандалакшском заливе Белого моря между Кандалакшским и Карельским берегами. Длина залива – 185 км, ширина у входа – 67 км. В Кандалакшский залив впадают реки Нива, Ковда, а также множество ручьев, которые способствуют опреснению водоема. Температура воды на поверхности летом в среднем до 18,5 ºС, в мелких, защищенных от ветров, хорошо прогреваемых губах и бухтах вода прогревается сильнее – до 25 ºС. Зимой – от –1,0 до 1,5 ºС. С первой декады октября по май большая часть Кандалакшского залива покрыта льдом: от вершины почти до Турьего мыса и до Кемь-луд, в мягкие зимы только до Порьей губы.

Соленость воды зимой – 27–29 ‰, летом – от 0 до 20–25 ‰. Это объясняется тем, что в Белое море с речным стоком поступает большое количество пресной воды, которая снижает концентрацию солей в верхних водных слоях. У поверхности воды, особенно вблизи устьев рек, наблюдаются резкие сезонные колебания солености в связи с изменением объема речных стоков. Наибольшее опреснение происходит в разгар половодья [7].

Исследования проводились в 3 точках Кандалакшского залива: остров Горелый, губа Долгая, остров Двойной, на растениях зостеры, произрастающих в различных условиях: на литорали, сублиторали и на опресняемых участках.

ОПИСАНИЯ ИССЛЕДОВАННЫХ МЕСТ ПРОИЗРАСТАНИЯ ЗОСТЕРЫ

На острове Двойном сообщество зостеры небольшое: примерно 2×1,5 м в литоральной ванне. Грунт песчано-илистый. При отливе не обсыхает, уровень воды во время отлива примерно 15–20 см, вода на отливе сильно нагревается. Находится с защищенной стороны острова.

Губа Долгая – это небольшой залив, глубоко вдающийся в материк. Сильные ветры и волнобой, идущие с моря, наблюдаются редко или совсем отсутствуют. В губу впадает множество небольших пресных ручейков. Грунт илистый или песчаный. Сообщества зостеры здесь сильно разрежены, располагаются на песчаной литорали, хорошо защищены от действия волн.

На острове Горелом зостера образует сплошной «ковер» на литорали и сублиторали. Грунт песчано-илистый. Характерно наличие многочисленных «ключей» пресной воды. Зостера на этом острове исследовалась в различных условиях произрастания: на литорали, сублиторали и возле ручья, то есть в условиях опреснения.

Рис. 1. Побережье о. Горелый

Литоральные растения зостеры во время отлива сверху покрыты значительным слоем нитчатых водорослей, что в некоторой степени защищает зостеру от высыхания. На участке у ручья побеги располагаются несколько реже, на отливе практически не обсыхают, так как постоянно омываются водой из ручья. Температура воды в ручье ниже, чем на литорали во время прилива. В солнечные дни в июне на литорали вода может прогреваться до 20 °С и выше, а температура в ручье значительно ниже – около 10 °С, поэтому на отливе растения сильно охлаждаются (рис. 1).

МЕТОДИКА СБОРА И ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛА

Материал был собран в течение двух летних периодов: в 2005 и 2006 годах в июне – июле. Сбор проб проводился в 3 различных точках Кандалакшского залива: о. Горелый, губа Долгая, о. Двойной. На о. Горелый пробы были взяты в различных горизонтах побережья (литораль и сублитораль), а также в опресняемых участках. Также были собраны пробы зостеры, произрастающей на разной глубине. Для этого на о. Горелый была сделана трансекта, начинающаяся с верхней границы произрастания зостеры и на 12 метров уходящая в море. Пробы были взяты с каждого метра трансекты. Для определения осмотического потенциала клеток листа собирали растения зостеры в местах с различными условиями произрастания: на литорали, на сублиторали и на опресняемых участках. При этом также брались пробы воды, плотность воды измеряли с помощью ареометра и затем по таблицам переводили плотность в соленость.

Осмотический потенциал клеток листа зостеры определяли плазмолитическим методом (рис. 2) [4].

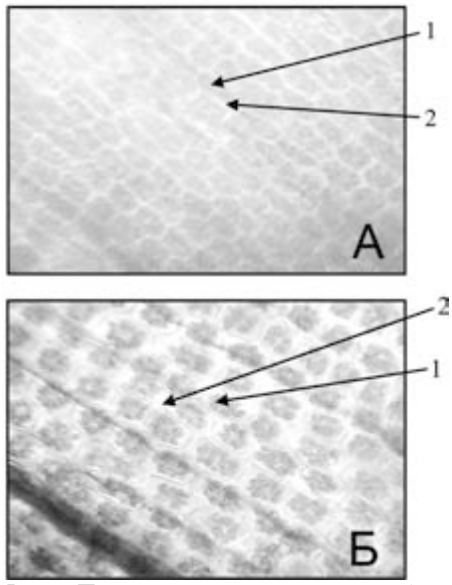


Рис. 2. Плазмолиз в клетках *Zostera marina*:

А – нормальные клетки, *Б* – плазмолизированные клетки, *1* – хлоропласты, *2* – клеточная оболочка

РЕЗУЛЬТАТЫ

В таблице приведены данные по осмотическому потенциалу клеток листа зостеры, произрастающей в акватории Кандалакшской губы: на разной глубине и при различной солености воды.

Максимальные значения (32.1–34.7 кПа) осмотического потенциала в обоих годах исследования были отмечены у растений зостеры, произрастающих на литорали, а минимальные (14.8–23 кПа) – на опресняемых участках острова Горелый. Диапазон варьирования солености воды (12–22 ‰) уже, чем диапазон варьирования осмотического потенциала (14–34 кПа), что может свидетельствовать о большом адаптивном потенциале этого вида. Исследование показало, что с увеличением солености возрастает осмотический потенциал клеток листа (рис. 3).

Однако на графике выделяются (они отмечены квадратами) точки, в которых при одинаковом значении солености величины осмотического потенциала различаются: меньшие значения соответствуют значениям осмотического потенциала в клетках листьев растений сублиторали, большие – клеткам листьев растений на литорали. Соленость воды во время прилива на литорали и сублиторали одинаковая, но во время отлива условия резко изменяются, и это различие может составлять 10 ‰ [1]. Также изменяются и другие факторы – температура, влажность, освещенность. Если на сублиторали они варьируют незначительно, то на литорали, в пределах приливно-отливной зоны, изменения этих факторов даже в течение суток очень существенны.

Осмотический потенциал листьев зостеры, произрастающей в различных условиях засоления

Места взятия проб	Год	№ пробной площадки	Экологические условия, соленость, ‰	Величина осмотического потенциала вегетативного листа, кПа
О. Горелый литораль	2005	-	22,90	34,7±2,1
О. Горелый сублитораль		-	22,90	30,9±1,2
О. Горелый опреснение		-	13,57	23,5±1,3
О. Двойной		-	22,56	27,3±2,3
Губа Долгая литораль		-	21,46	29,3±1,3
О. Горелый опреснение	2006	-	12,39	14,8±1,4
О. Горелый литораль		1	14,91	29,4±2,5
		3		32,1±1,3
		5		23,7±2,7
О. Горелый сублитораль		7	14,91	22,7±4,1
		10		18,8±1,4
Губа Долгая литораль		-	14,59	16,8±1,4

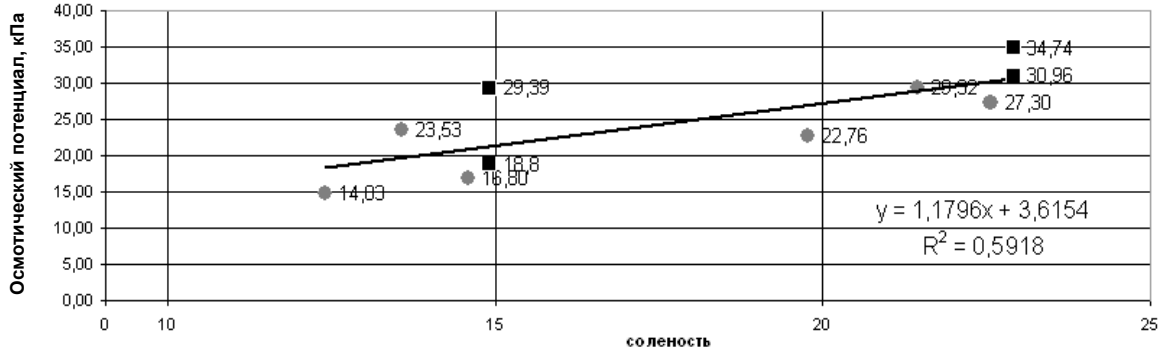


Рис. 3. Зависимость осмотического потенциала листа *Zostera marina* от солености воды

Исследования динамики изменения осмотического потенциала в листьях зостеры во время действия приливно-отливной волны (рис. 4) показали, что на отливе уже через 15 минут отмечается увеличение осмотического потенциала (с 15,9 до 25,7 кПа), которое сохраняется в листьях зостеры и после прилива. Снижение потенциала происходит медленнее, чем его повышение.

Изучение осмотического потенциала растений в зависимости от глубины произрастания показало, что эта связь описывается линейным уравнением с достаточно высоким уровнем значимости (рис. 5). Более высокий осмотический потенциал во время отлива у литоральных растений позволяет им лучше приспособиться к условиям среды.

Растения на литорали во время отлива обсыхают, в их тканях может изменяться температура, а повышенное осмотическое давление клеток позволяет им дольше удерживать воду и благодаря этому оставаться жизнеспособными. Таким образом, диапазон осмотического потенциала у зостеры можно рассматривать как интегральный показатель степени акклимированности вида к условиям произрастания.

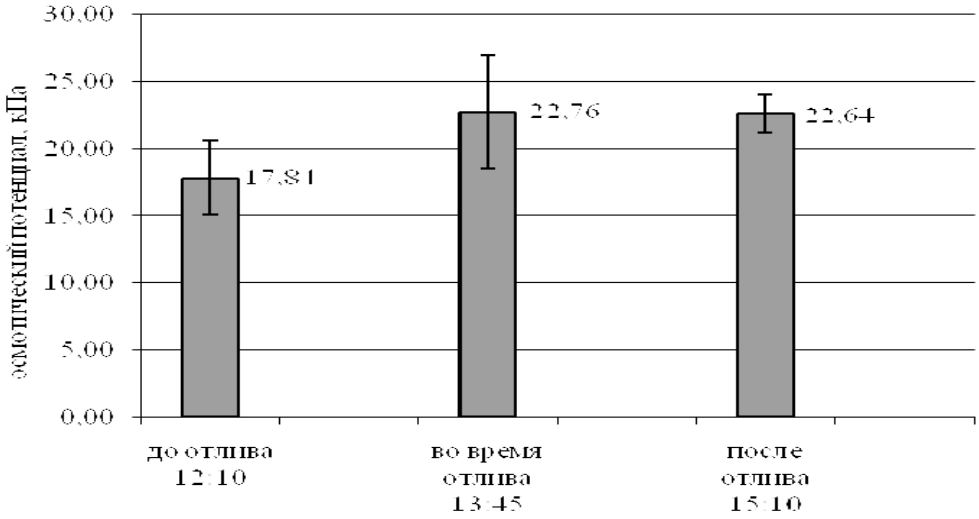


Рис. 4. Динамика осмотического потенциала клеток листьев зостеры
(о. Горелый, соленость воды – 19,77 ‰, 2006 г.)

Рис. 5. График зависимости осмотического потенциала
от глубины произрастания

ОБСУЖДЕНИЕ

Зостера обитает в широком диапазоне солености воды. По данным Т. Мейера и С. Неринга, в Балтийском море зостера может произрастать при солености от 3 до 30 ‰ [14], по данным Амельзадеха с соавторами, в Японском море – от 5 до 33 ‰ [11]. Диапазон солености воды в местах произрастания зостеры в Кандалакшском заливе Белого моря более узкий и варьируется от 14 до 23 ‰, при этом диапазон осмотического потенциала клеток листа зостеры включает значения от 14,8 до 32,1 кПа.

В условиях повышенной солености почвенного слоя и воды одним из путей наиболее широко распространенной адаптации является изменение осмотического потенциала клетки, который может повышаться как за счет накопления в клетках повышенного количества осмотически активных гидрофильных ионов солей, так и низкомолекулярных органических соединений, в том числе углеводов [10]. Осмотический потенциал клеток листа зостеры на отливе увеличивается с 15,9 до 25,7 кПа. Быстрое изменение осмотического потенциала у зостеры во время отлива и суточная цикличность этих изменений дает основание предположить, что в этой реакции должны быть задействованы вещества основного обмена. Такой механизм был обнаружен у другого литорального растения – *Ruppia maritime* L. [15]. При экспериментальном погружении растений этого вида в раствор, соленость которого в 2 раза превышает соленость, в которой были выращены растения, осмотический потенциал клеток за одну минуту увеличивался почти на 50 %. Это происходило за счет растворимых углеводов (их концентрация увеличилась на 34 %) и растворимого пролина (его концентрация увеличилась на 18 %). Однако известно, что синтез и распад пролина в листьях зостеры происходит медленно, при изменении солености воды [12]. Как и руппия, зостера относится к группе галофитов, и можно предположить, что для поддержания осмотического потенциала этого вида также могут использоваться осмотически активные сахара. Увеличение содержания низкомолекулярных углеводов на отливе может происходить за счет распада крахмала [16], сахарозы [17], синтеза глюкозы de novo [16]. В работе У. Карстена на антарктических зеленых водорослях литорали было показано, что синтез глюкозы наблюдается при солености воды в 68 ‰, а содержание крахмала в это время остается постоянным, то есть это увеличение может быть связано с синтезом de novo. Важно отметить, что у зостеры были получены высокие значения фотосинтеза при произрастании в условиях высокой солености (до 33 ‰) [13]. Это означает, что в этих условиях синтезируются углеводные продукты, которые могут выполнять осморегуляторную функцию. Однако эти предположения нужно проверить экспериментально.

В заключение мы выражаем глубокую благодарность руководству Кандалакшского заповедника за возможность экспериментальной работы на его территории и Г. А. Шкляревич за помощь в организации экспедиций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурковский И. В. Структурно-функциональная организация и устойчивость морских донных сообществ. М.: Изд-во МГУ, 1992. 208 с.
2. Вехов В. Н. Зостера морская (ZOSTERA MARINA L.) Белого моря. М.: Изд-во МГУ, 1992. 144 с.
3. Вехов В. Н. Некоторые вопросы экологии зостеры на Белом море // Биология Белого моря. Т. 4. М.: Изд-во МГУ, 1974. С. 65–79.
4. Викторов Д. П. Малый практикум по физиологии растений. М.: Высшая школа, 1969. 135 с.
5. Жизнь растений / Под ред. А. Л. Тахтаджяна. Т. 6. М.: Просвещение, 1982. С. 39–41.
6. Зубов Н. Н. Океанологические таблицы. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1957. 406 с.
7. Карпович В. Н. «Кандалакшский заповедник», Заповедники европейской части РСФСР. I. М.: Мысль, 1988. С. 20–60.
8. Малый практикум по физиологии растений / Под ред. Т. В. Гусева М.: Изд-во МГУ, 1982. 192 с.
9. Тахтаджян А. Л. Система и филогения цветковых растений. М.; Л.: Наука, 1966. С. 468.
10. Физиология растений: Учебник для студентов ВУЗов / Под ред. И. П. Ермакова. М.: Академия, 2005. С. 514–552.
11. Alemzadeh A. et al. ZMVHA-B1, the gene for subunit B of vacuolar H-ATPase from the Zostera marina L. is able to replace vma2 in yeast null mutant // Journal of bioscience and bioengineering. 2006. 102(5). P. 390–395.
12. Diggelen J., Rozema J., Broekman R. Mineral composition of and proline accumulation by zostera marina L. in response to environmental salinity //Aquatic Botany. 1987. 27 (2). P. 169–176.
13. Hellblom F., Björk M. Photosynthetic responses in Zostera marina to decreasing salinity, inorganic carbon content and osmolality // Aquatic Botany. 1999. 65 (1–4). P. 97–104.
14. Meyer T., Nehring S. Anphlanzung von Seegraswiesen (Zostera marina L.) als interne Massnahme zur restaurierung der Ostsee // Rostok Meersbiologie beitrag. Heft 15. 2006. S. 105–119.
15. Murphyb L. R, Kinseya S. T. Duroko M. J. Physiological effects of short-term salinity changes on Ruppia maritime// Aquatic Botany. 2004. 76 (4). P. 329–337.
16. Karsten U. Okologische Untersuchungen zur Salinitats – und Temperaturtolerz antarktischer Grunalgen unter besonderer Beruksichtigung des b-Dimethylsulfoniunpropionat (DMPS) – Stofwechsels // ePIC (electronic Publication Information Center) of Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (AWI) [Electronic resource]. 1991. 120 p. Mode access: http://epic.awi.de/Publications/BerPolarforsch199179.pdf.
17. Touchettea B. W., Burkholderb Jo A. M. Carbon and nitrogen metabolism in the seagrass, Zostera marina L.: Environmental control of enzymes involved in carbon allocation and nitrogen assimilation // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 2007. 350 (1–2). P. 216–233.

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ ПЕТРОЗАВОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Сентябрь, № 3 **Биология** **2008**

УДК 574:912

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

НАТАЛЬЯ СЕРГЕЕВНА ЕЛЕХОВА
студентка 4 курса эколого-биологического факультета ПетрГУ
korosov@psu.karelia.ru

ГИС-ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТРОП

В статье обсуждаются критерии туристического интереса к территории и технология полуавтоматического проектирования экологической тропы. Предлагаются объективные характеристики местности (биоразнообразие, пейзажи, памятники и пр.) превращать в «индексы желательности» для каждой определенной группы туристов. В качестве полигона послужила территория северной части о. Климецкий Кижского архипелага Онежского озера.

Ключевые слова: ГИС, экологическая тропа, экологический туризм, критерии интереса к территории, биоразнообразие, памятники природы, объекты культурного наследия, индекс желательности, оценка относительной важности, информационный ландшафт

Жизнь становится лучше – и все больше людей тянется к природе. Экологический туризм в его многообразных проявлениях входит штатным пунктом в программы отпусков. Его главная особенность – это отдых в рекреационно привлекательных регионах, мало нарушенных человеческой деятельностью, сохранивших традиционный уклад жизни местного населения [6], [7]. В этой связи задачей тех организаций (музеев, садов, парков, заповедников), которые занимаются культурным природопользованием, становится предоставление качественных услуг в сфере организации экскурсий на природу или исследовательских маршрутов, дающих посетителям интересную и существенную информацию об объектах природы и культурного наследия в яркой форме непосредственного познания.

В качестве полигона для отработки нашей технологии организации экологических экскурсий выбрана территория о. Климецкий, входящая в охранную зону архитектурно-природного музея-заповедника древней деревянной архитектуры «Кижи» и заказника «Кижские шхеры». Природа этого крупнейшего (147 кв. км) из островов Кижского архипелага характерна для всего Заонежья и представляет собой пестрое сочетание естественных (болота, сельги, ельники, сосняки), культурных и антропогенных ландшафтов (поля, луга, мелколиственные леса, липняки, вязовые рощи), сформировавшихся на протяжении многовековой истории освоения региона; многочисленны и памятники культурного наследия (каменные гряды, постройки, захоронения) [1].

Одна из наиболее эффективных форм чувственного насыщения природой – экологическая тропа, специально оборудованная территория, где создаются условия для ознакомления с местной природой и культурой [3]. Учитывая множество разнородных критериев (природоохранный, рекреационный, просветительский, научный, коммерческий), которым должна удовлетворять экологическая тропа, подход к ее организации должен быть строго научным, в том числе количественным. В литературе можно обнаружить списки разнообразных требований

© Коросов А. В., Елехова Н. С., 2008

к свойствам троп [3], [5], [10], [12], учитывающих организационные мероприятия, эффективность воздействия, нагрузку на природу и особенности разных категорий туристов. Вместе с тем собственно технологический момент: как именно осуществлять прокладку маршрута на местности, в литературе почти не обсуждается.

Для всех этих рекомендаций характерно то, что они предполагают создание ограниченного числа строго определенных троп (маршрутов), снабженных информационными материалами (в форме табличек, плакатов и пр.), и советуют проводить тщательное предварительное исследование и подготовку каждого маршрута. На наш взгляд, в этом просматривается прежний, директивный, а не демократичный метод любого планирования (в данном случае – чужого отдыха). Не лучше ли самим туристам, существенно отличающимся друг от друга, позволить планировать себе экологическое приключение?

Сформулируем проблему конкретнее: нельзя ли создать серию или сеть экологических троп на определенной территории, для которых маршрут следования будут выбирать сами туристы, а не штатные (незаинтересованные) организаторы их отдыха? Чтобы не оказаться в местах неинтересных или просто опасных, обо всей рекреационной территории должна быть накоплена разнообразная объективная информация. На этой основе сами отдыхающие могут осуществлять выбор интересного маршрута по своим силам.

Рисуется следующая технологическая цепочка создания экологической тропы: организация сбора и накопления объективных данных о природе рекреационной территории, создание системы критериев для выбора желательных мест посещения, работа с каждой группой туристов над маршрутом, наиболее интересным для них, создание карты «ландшафт приоритетных территорий», прокладка по карте маршрута новой экологической тропы с учетом прежних коммуникаций, ранее созданных троп и по бездорожью, исследование нового маршрута на местности, выбор окончательного маршрута, прохождение тропы туристами, дополнение генеральной базы данных ГИС, дополнительное обустройство популярных троп (мостки, кемпинги, плакаты, буклеты), мониторинг за состоянием природы в местах прохождения троп. В итоге на территории сформируется целая сеть экологических троп, учитывающих интересы самых разнообразных групп туристов.

Цель данной работы состоит в создании информационной технологии разработки проекта экологической тропы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Полевые исследования проводились в июле 2007 года и в мае 2008 года в северной части о. Климецкий Онежского озера в охранной зоне музея-заповедника «Кижи» и на территории заказника «Кижские шхеры» (рис. 1).

Рис. 1. Место проведения исследований

На маршрутах, прокладываемых с помощью навигатора GPS, отмечали места пересечения границ разных биотопов. Биотоп здесь понимается в широком (зоологическом) смысле слова как местообитание и примерно соответствует формации (группе фитоценозов или ассоциаций, сходных по эдификаторам); всего описано 60 биотопов. В ключевых точках регистрировали 80 характеристик природного и культурного окружения, сведенных в 7 групп:

деревья – наличие одной из 14 пород (береза sp., ольха серая и черная, осина, рябина, черемуха, крушина, ива sp., жимолость, вяз, ель, сосна, можжевельник; балл 0 или 1),

травы (49 видов травянистых растений; балл 0 или 1),

возраст фитоценоза (баллы 1 (0–50 лет), 2 (50–100), 3 (более 100 лет): леса – по доминирующим породам, луга и открытые каменные сельги оценены баллом 3),

влажность почвы в баллах (болота – 3, заболоченные леса – 2, сырые леса – 1, суходолы – 0),

животные – регистрация встреч особей разных видов или их следов (медведь, барсук, лось, кабан, заяц, белка, дятел, тетерев-косач, рептилии, амфибии; балл 0 или 1),

дороги – наличие дороги в данном квадрате площадью 1 га (балл 0 или 1),

памятники культурного наследия (старые постройки, ровницы и каменные гряды, старые кладбища, захоронения партизан; балл 0 или 1).

На текущем этапе разработки принципов ГИС-проектирования экологических троп мы не предъявляли высоких требований к исходным данным, ограничиваясь глазомерной оценкой, преследующей целью не детальность исследования, но широкий охват наблюдаемых территорий. По этой причине из рассмотрения были исключены такие компоненты природы, как, например, геологические образования, удаленность от побережья, певчие птицы и пр. На наш взгляд, это оправдано на рекогносцировочном этапе разработки троп. В дальнейшем следует существенно уточнить геолого-географическую характеристику территории, а также видовой состав растений

и животных в процессе специальных геоботанических съемок и учетов численности.

Обработка собранных данных проводилась с помощью программ Excel и MapInfo.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Выполняя задачу построения технологической цепочки полуавтоматического создания проекта экологической тропы, следует последовательно рассмотреть пройденные нами этапы на конкретном материале.

Создание баз данных

Описания природы в ключевых точках использованы для дешифрирования космо- и аэрофотоснимков [9]. В результате была получена карта основных 15 типов местообитаний: низинное болото, сосняк сфагновый, сосняк-зеленомошник, сосняк лишайниковый, открытая сельга, смешанные хвойно-мелколиственные леса (елово-осиновые), спелые и старые лиственные березово-осиновые леса, лиственные молодняки (ольшаники, черноольшаники и березняки), луга, альвары (всего выявлено 208 биотопов, рис. 2).

Вся собранная информация была организована в серию баз данных (рис. 3), причем ботанические характеристики, полученные для 60 описанных биотопов, были экстраполированы на выделы того же типа, выявленные при дешифрировании снимков.

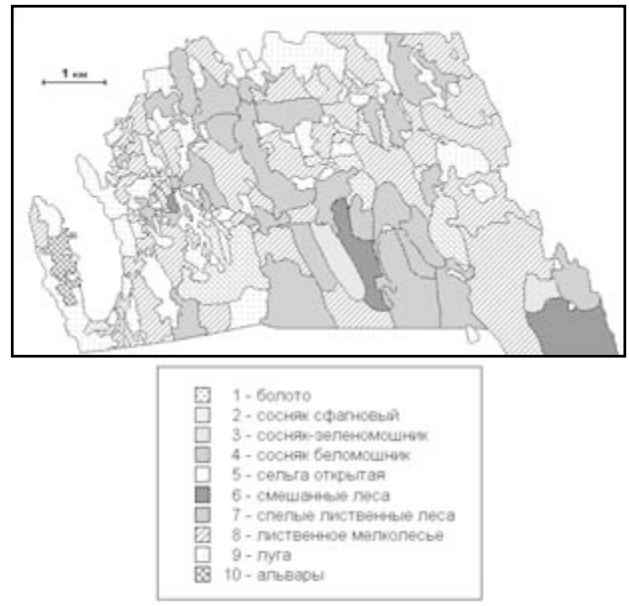


Рис. 2. Основные группы биотопов в северной части о. Климецкий

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	NПП	Биотоп	Порода	бер	ольс	ольч	сосн	осин	ряб	чере	можж	жим(	вяз	ель	ива
62	61	луг		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63	62	низинное при		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
64	63	ольшаник	ольха се	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
65	64	луг	рябина	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
66	65	ольшаник	ольха се	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
67	66	луг		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
68	67	луг		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
69	68	деревня Лахт		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	69	луг		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
71	70	ольшаник	ольха се	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72	71	березняк с по	береза,р	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0
73	72	березняк	берёза	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 3. Фрагмент базы данных встречаемости древесных растений (лист Excel «значения!»)

Базы данных были организованы в форме географической информационной системы – многослойной электронной карты, в которой каждый слой соответствует своему типу объектов, представленных в электронных базах данных (получено всего 7 слоев карт и 7 баз данных). Кстати отметим, что эта работа должна вестись постоянно и после завершения предварительного исследования, поскольку любое посещение природы будет доставлять новые данные, на основе которых можно дополнить старые базы и создать новые слои общей карты. В число таких компонентов ГИС могут быть со временем добавлены, например, показатели «эстетический ландшафт» (локализация красивых пейзажей), археологические находки, памятники природы, места отдыха известных людей и пр.

Обобщение данных

Полученную объективную информацию предстояло объединить для совместного анализа. Выбор мест прохождения экологического маршрута требует учета всех свойств конкретной небольшой территории. Обычно в экологических исследованиях единицей объединения ботанической, зоологической, геологической и прочей информации о территории является фитоценоз или группа фитоценозов (формация) [4]. В нашем случае проблема состоит в том, что

разнородные слои информации взаимно не коррелируют. Одинаковые типы биотопов будут в разной степени привлекательны для туристов, поскольку расположение памятников культурного наследия, дорог, следов животных ассоциируется не с типами биотопических выделов, но с историей заселения территории и деградации этих поселений за последние 100 лет, с близостью к берегу озера и человеческому жилью.

Анализируя это противоречие, мы пришли к выводу, что в выборе пространственной единицы для объединения информации о среде следует ориентироваться на способности человека (туриста) – возможность одним взором охватить окрестную территорию, выбрать для себя интересные объекты и подойти к ним. Поле зрения вокруг точки наблюдения простирается до 30 км на акватории, сотен метров на лугу, 10–70 метров в лесу. Можно считать, что турист в состоянии хорошо зрительно ориентироваться на участке суши размером 100×100 м.

Исходя из этих соображений, карта изучаемой территории была разбита на 1147 квадратных выделов площадью 1 га (рис. 4).

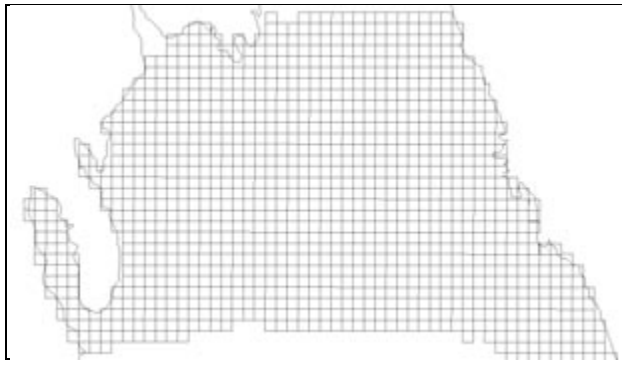


Рис. 4. Разбиение изучаемой территории на сеть квадратных выделов 100 на 100 м

Далее с помощью стандартных операций в среде ГИС (Excel и MapInfo) каждой квадратной площадке изучаемой части острова была приписана строчка в общей базе данных, несущая все 80 характеристик природной и культурной среды той территории, которая оказалась «накрытой» данной площадкой. Дальнейшая работа велась с этой общей базой объективных натурных данных.

Построение индексов желательности

Рассмотренные выше объективные данные могут быть получены разными наблюдателями по известным методикам и поэтому в целом не зависят от их точки зрения (варьирует лишь репрезентативность и точность наблюдений). В то же время, для разных категорий туристов одни и те же сведения могут иметь разное, порой прямо противоположное значение. Так, для исследователей леса интересны высокие значения показателя «сомкнутость крон» (30−70%), а для любителей луговых цветов предпочтительнее отсутствие деревьев, то есть низкие показатели (0−20 %).

В качестве меры значимости любого объективного показателя для определенной категории наблюдателей служат относительные характеристики. Широко известна функция желательности Е. Харрингтона [2], построенная на основе логарифмической формулы $d = e^{-e^{-x}}$. При ее практическом использовании предварительно назначают несколько ключевых значений желательности, соответствующих оценкам качества объекта. Рекомендуется значение $d = 0.2$ приписывать оценке «неудовлетворительно», 0.37 − «удовлетворительно», 0.63 − «хорошо», 0.8 − «отлично». Проводя наблюдения (или анализируя объективные характеристики в базе данных), качество объекта оценивают, исходя из этой принятой шкалы с точки зрения данной группы наблюдателей. Например, с позиций любителей леса и луга можно построить следующее соответствие показателей сомкнутости крон и значений желательности (табл. 1). Любители леса назначат максимальный балл самому дремучему лесу (> 60 %), любители луга – его отсутствию (0 %).

Таблица 1

Приоритеты двух групп туристов в отношении показателя «Сомкнутость крон»

Группа	Сомкнутость, %			
	0.2	0.37	0.63	0.8
«Лесники»	< 40	50	60	> 60
«Луговики»	> 20	20	10	0
Критические значения желательности (d)	0.2	0.37	0.63	0.8

Оценки желательности, назначенные по объективным показателям, естественно, не могут повысить точность характеристик объектов, у них иное предназначение. Во-первых, значения желательности позволяют в однотипных величинах (в пределах 0−1) выразить отношение туристов к существенно разным характеристикам объектов природы − качественным, балльным, количественным, то есть привести все показатели к единой количественной шкале. Важно, что в этой однотипной шкале выражаются разные отношения разных групп туристов к одним и тем же объектам природы. Во-вторых, значения желательности доступны для арифметической обработки даже в том случае, если исходные признаки выражались баллами или словесно характеризовали качества объектов. Дело в том, что шкала желательности выражает новое свойство – отношение людей к зарегистрированным объективным свойствам объектов природы, то есть превращается в шкалу отношений

[8], к которой применимы все арифметические действия. Эти моменты важны для построения единой процедуры вычисления предпочтений, которая не меняется при смене требований к маршруту у разных групп туристов.

Для автоматизации компьютерного перевода объективных показателей в значения функции желательности в среде Excel эти преобразования могут быть выражены в виде формул перехода по условию (функция ЕСЛИ). Объективные данные помещаются на один лист книги Excel, значения ключевых точек − на второй, а на третий лист (или на нижнюю часть второго листа) вводятся формулы для определения значений желательности, которые используют значения первых двух блоков информации (с помощью соответствующих ссылок) (рис. 5). В примере факт встречи следов животных на площадке, выраженный числом 1, задан максимальным значением желательности, отсутствие встречи – минимальным. Желательность встречи следов разных животных не одинакова; для медведя она оценена максимальным значением d = 0.9, для барсука − 0.8, для белки − 0.5. Приведенная на рис. 5 формула =ЕСЛИ(значения!BQ90=0,желательность!BS$2, желательность!BS$3) сопоставляет значение из базы объективных данных (лист «значения!») с критической величиной 0, и в зависимости от наблюдений на выходе выдает заданную величину желательности (в ячейках BS$2 и BS$3 листа «желательность!»). Как видно на рис. 5, на площадке номер 88 были встречены следы медведя и погрызы зайца, отмеченные высокой желательностью. Минимальные значения желательности (при отсутствии встреч животных) были приняты довольно высокими (0.3–0.4) с тем, чтобы единичные встречи отдельных видов не могли резко повлиять на величину интегральной желательности (см. ниже). В дальнейшем значения встречаемости должны быть заменены на показатели плотности населения животных, характеризующие вероятность встретить следы (или особей) разных видов. В этом случае критические точки функции желательности могут быть заданы более контрастно, включить весь диапазон от 0 до 1.

	A	BR	BS	BT	BU	BV	BW	BX	BY	BZ	CA	CB
1	Баллы	Значения функции желательности										
2	0	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	
3	1	0.9	0.8	0.8	0.8	0.5	0.5	0.6	0.6	0.8	0.5	
4	2											
5	3											
6	4											
7	5											
8	NПП	медведь	барсук	лось	кабан	заяц	белка	косач	дятел	гадюка	лягушка	ИнтегрЖи
95	87	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.346
96	88	0.9	0.4	0.4	0.3	0.5	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.424
97	89	0.3	=ЕСЛИ(значения!BQ90=0,желательность!BS$2,желательность!BS$3)								0.4	0.346
98	90	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.346
99	91	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.346
100	92	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.346
101	93	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.346

Рис. 5. Расчет значений желательности встречи животных и их следов (лист Excel «желательность!»)

Важно отметить, что предложенная организация данных позволяет легко изменять приоритеты тех или иных качеств объектов наблюдения (значения желательности в ключевых точках); при этом не требуется менять структуру данных и формулы при назначении приоритетных свойств разными группами туристов. Для расчета значений желательности, соответствующих этим разным требованиям, достаточно изменить ключевые значения на втором листе расчетов (в шапке второго листа), заменив значения функции желательности, соответствующие объективным переменным (в примере эти значения расположены в строках 2–7).

Для характеристик среды, выраженных большим числом значений, используются все ключевые точки функции желательности. Соответственно, логические формулы усложняются. Например, формула перевода пятибалльной шкалы показателя «влажность» в значения желательности выглядит так (рис. 6, формула из ячейки C169 листа «желательность!»):
=ЕСЛИ(значения!CD162=A$2,C$2,ЕСЛИ(значения!CD162=A$3,C$3,ЕСЛИ(значения!CD162=A$4,C$4, ЕСЛИ(значения!CD162=A$5,C$5,0)))).

В организационном плане одна из важнейших задач построения экологического маршрута − это собеседование с туристами и назначение критических уровней желательности для принятых качественных, балльных или количественных шкал объективных показателей. В нашем случае проводилось собеседование с молодыми людьми, не имеющими биологического образования.

После назначения критических уровней значения желательности во всей базе автоматически пересчитываются. Для некоторых характеристик из нашего примера значения желательности приведены на рис. 5 и 6. Всего задано 80 шкал, на

основании которых были рассчитаны значения желательности для всех изученных показателей. В этой таблице каждая строка желательности соответствует отдельному квадратному выделу, каждый из которых оценен по 80 признакам.

	A	C
1	Баллы	
2	0	0.8
3	1	0.63
4	2	0.37
5	3	0.2
6	4	
7	5	
8	NПП	ИнтегрВлажность
167	159	0.63
168	160	0.63
169	161	0.8
170	162	0.2
171	163	0.63

Рис. 6. Расчет значений желательности для показателя влажности почвы в ячейке C169: =ЕСЛИ(значения!CD162=A$2, C$2,ЕСЛИ(значения!CD162=A$3,C$3,ЕСЛИ(значения!CD162=A$4,C$4,ЕСЛИ(значения!CD162=A$5,C$5,0)))); формула ссылается на ячейку листа «значения!», на котором значения!CD162=0

Оценка приоритетов групп показателей

Следующим шагом работы должна быть интегральная оценка желательности для каждого участка изучаемой территории, оцененная на основе всех ранее определенных оценок желательности по всем изучаемым признакам. Для этой цели рекомендуется вычисление средней геометрической

$$D = \sqrt[n]{d_1 \cdot d_2 \cdot \ldots \cdot d_n}\ . \qquad [2]$$

Такой усредняющий подход в отношении экологических троп мало оправдан, поскольку разные показатели для разных групп туристов могут иметь разную ценность. В частности, наличие дорог гораздо более важно для людей пожилого возраста, чем для молодых людей. Однако желательность дорог может быть оценена этими категориями туристов одинаково высоко, например $d = 0.9$. При простом усреднении приоритетность наличия дорог для пожилых людей никак не будет учтена. Это значит, что в форумы обобщения следует ввести *весовые коэффициенты*, соответствующие степени важности рассматриваемых показателей для данной группы туристов.

Мы предлагаем решать эту проблему в два этапа. Сначала усредняются (по приведенной формуле) показатели сходной природы. В нашем случае были рассчитаны интегральные показатели желательности для семи групп характеристик – деревьев, трав, возраста, влажности животных, дорог, памятников (см. раздел «Материалы и методы»). Например, для 88 площадок по встречам всех видов животных имеем (рис. 5):

$$D = \sqrt[n]{d_1 \cdot d_2 \cdot \ldots \cdot d_n} = \sqrt[10]{0.9 \cdot 0.4 \cdot \ldots \cdot 0.4} = 0.424.$$

В результате расчета интегральных показателей желательности получена база данных размером 7 (показателей) ×1147 (площадок) (табл. 2).

На втором этапе разным интегральным показателям назначаются весовые коэффициенты с помощью метода оценки приоритетов Т. Саати и К. Кернса [11], [8]. В соответствии с этой технологией все показатели из некоторого набора попарно сравниваются друг с другом в фокусе определенной проблемы, а результаты сравнения записываются в квадратную таблицу *значений относительной важности показателей*. При сравнении каждой пары значение относительной важности одной характеристики перед другой выражается баллами от 1 до 9, а значение важности второй характеристики относительно первой оценивается обратной величиной (табл. 3).

В нашем случае попарно сравниваются друг с другом интегральные оценки желательности семи групп характеристик среды с точки зрения их большей значимости для данной группы туристов (табл. 4). При заполнении данной таблицы выполняется правило: в любую ячейку записывается предпочтение строчных показателей перед показателями в столбце.

Например, для рассматриваемой группы молодых «небиологов» встречи животных или их следов существенно важнее, нежели наличие дороги в данном квадрате. Этому соотношению соответствует балл 5. Соответственно, важность «дорог» относительно «животных» составит 1/5 = 0.20. Эти значения попадают в таблицу относительной важности на пересечении строк и столбцов, отведенных для данных показателей. Далее полученные оценки важности по каждой строке усредняются с помощью формулы средней геометрической (W_j), значения средних суммируются и затем определяются их доли в общей сумме (p_j). Значения p_j характеризуют относительную важность каждого интегрального по-

Таблица 2

Фрагмент базы интегральных значений желательности (площадки № 86–90)

№	Деревья	Травы	Возраст	Влажность	Животные	Дорога	Памятники
				…			
86	0.47	0.80	0.90	0.80	0.35	0.30	0.10
87	0.47	0.80	0.90	0.80	0.35	0.30	0.10
88	0.46	0.33	0.20	0.80	0.42	0.30	0.14
89	0.47	0.80	0.90	0.80	0.35	0.30	0.10
90	0.51	0.33	0.20	0.80	0.35	0.30	0.10
				…			

казателя, то есть являются искомыми весовыми коэффициентами для изученных характеристик среды. Существует метод проверки сбалансированности полученных оценок [11].

Следующая процедура состоит в вычислении обобщенных оценок приоритетного интереса к отдельным площадкам по формуле

$$P = p_1D_1 + p_2D_2 + ... + p_1D_n$$

с использованием значений желательности интегральных показателей (D) и весов их относительной важности (p) (табл. 5).

Таблица 3

Шкала относительной важности w_i/w_j [11]

Интенсивность важности	Определение	Объяснения
1	Равная важность	Равный вклад двух видов деятельности в цель
3	Умеренное превосходство	Опыт и суждения дают превосходство одного над другим
5	Существенное превосходство	
7	Значительное превосходство	Практически значимое превосходство одного над другим
9	Очень сильное превосходство	
2, 4, 6, 8	Промежуточные решения	Применяются как компромисс
Обратные величины оценок	Если «превосходство» А над Б выражено числом 3, то «превосходство» Б над А получает значение 1/3	

Таблица 4

Относительная важность характеристик среды

Насколько строка предпочтительнее столбца?									
w_i / w_j	Деревья	Травы	Возраст	Влажность	Животные	Дорога	Памятники	W_j	p_j
Деревья	1	3	7	0.14	3	5	2	1.9	0.20
Травы	0.33	1	7	9	0.25	5	4	1.9	0.21
Возраст	0.14	0.14	1	9	0.14	7	3	0.9	0.10
Влажность	7	0.11	0.11	1	0.11	0.14	0.14	0.3	0.03
Животные	0.33	4	7	9	1	7	5	3.1	0.34
Дорога	0.20	0.20	0.14	7	0.14	1	5	0.6	0.06
Памятники	0.50	0.25	0.33	7	0.20	0.20	1	0.5	0.06
Сумма								9.3	1.0

Таблица 5

Принцип расчета интегральных значений важности для некоторых площадок

	№	Деревья	Травы	Возраст	Влажность	Животные	Дорога	Памятники	P
					…				
	87	0.47	0.80	0.90	0.80	0.35	0.30	0.10	
D	88	0.46	0.33	0.20	0.80	0.42	0.30	0.14	
	89	0.47	0.80	0.90	0.80	0.35	0.30	0.10	
…									
p		0.20	0.21	0.10	0.03	0.34	0.06	0.06	
…									
	87	0.095	0.167	0.089	0.025	0.116	0.019	0.006	0.518
$D \cdot p$	88	0.094	0.069	0.020	0.025	0.142	0.019	0.008	0.378
	89	0.095	0.167	0.089	0.025	0.116	0.019	0.006	0.518
					…				

Конечным результатом оказывается вектор значений приоритетного интереса P – по одному значению для каждой площадки. Например, для площадки № 88 получаем следующий результат (табл. 2, 5):

$P = 0.20 \cdot 0.46 + 0.21 \cdot 0.33 + 0.10 \cdot 0.20 + 0.03 \times$
$\times 0.80 + 0.34 \cdot 0.42 + 0.06 \cdot 0.30 + 0.06 \cdot 0.14 = 0.378.$

Построение картограммы

Рассчитанные значения туристических приоритетов каждой площадки позволяют в среде ГИС построить картограмму, зрительно представляющую их территориальное расположение (рис. 7).

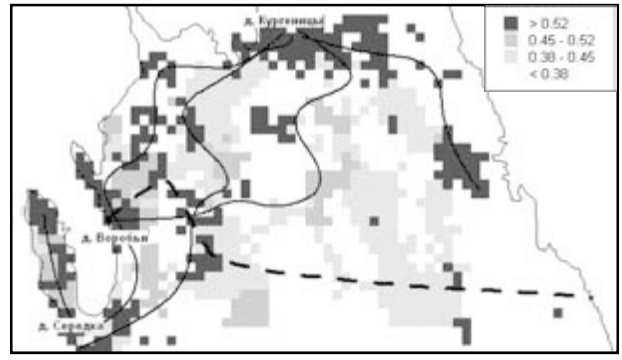


Рис. 7. Картограмма территориального распределения туристических приоритетов в северной части Климецкого острова, расположение перспективных экологических маршрутов для молодых туристов-«небиологов» (сплошные линии) и существующей «директивной» экологической тропы (пунктирная линия)

Такая картограмма для определенной группы туристов является *ландшафтом приоритетных территорий*. В нашем случае наиболее интересны для молодых любителей природы северная и северо-западная части Климецкого острова, где сосредото-

чено наибольшее число лугов, выходы коренных пород (сельги), живописные скальные сосняки и можжевеловые заросли – альвары.

На этапе проектирования маршрутов можно не ограничиваться построением единственной заключительной картограммы, имеет смысл этим способом отобразить отдельные интегральные индексы и на этой основе уточнить оценки их относительной важности (см. табл. 4). На представленных диаграммах (рис. 8) хорошо видно, что интересующее туристов разнообразие травянистых растений связано только с лугами в северо-западной части острова. Следы животных (медведь, кабан) в основном встречаются на лугах и у болот, удаленных от жилья; в северной части, вокруг д. Кургеницы, высока численность рептилий и амфибий.

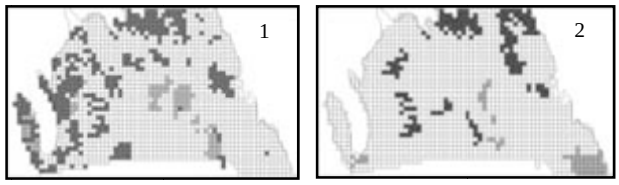


Рис. 8. Картограмма территориального распределения туристических приоритетов в северной части Климецкого острова относительно видового разнообразия трав (1) и животных (2)

Планирование троп

Рассматривая сети дорог, тропинок, просек, ранее проложенных троп, по картограмме туристических приоритетов несложно спроектировать конкретный маршрут следования, включая подъезд на автомобильном или водном транспорте. По водам Кижского архипелага перемещаются на катерах и лодках. В частности, для группы молодых туристов-любителей природы можно предложить 4–5 маршрутов протяженностью 4–6 км, берущих начало из д. Воробьи, д. Кургеницы или д. Середка (рис. 7).

Карта туристических приоритетов отчетливо показывает, что большая часть существующей экологической тропы для рассмотренной нами категории туристов будет мало интересна.

Одна из ближайших задач состоит в создании принципов и технологии автоматической прокладки экологических троп по картам ГИС.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают искреннюю признательность за помощь в сборе данных и организацию исследований Ю. М. Матросовой, А. В. Кравченко, М. А. Фадеевой, Р. С. Мартьянову, А. А. Коросову, Ю. Г. Протасову.

Работа выполнена при финансовой поддержке музея-заповедника «Кижи».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 10 лет экологическому мониторингу музея-заповедника «Кижи». Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2005. 162 с.
2. Адлер Ю. П., Макарова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 280 с.
3. Андреев К. А., Андреева Н. К. Экологические тропы Карелии (в помощь школьному учителю). Петрозаводск, 1991. 31 с.
4. Белов А. В., Лямкин В. Ф., Соколова Л. П. Картографическое изучение биоты. Иркутск, 2002. 160 с.
5. Голицина Н. Б. Экологические тропы // Голицина Н. Б. Практические рекомендации по исследованию экосистем Карелии. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2000. С. 5–36.
6. Дроздов А. В. Основы экологического туризма. М.: Гардарики, 2005. 271 с.
7. Зорин И. В., Квартальнов В. А. Менеджмент туризма: Туризм и отраслевые системы. М.: Финансы и статистика, 2001. 272 с.
8. Коросов А. В. Специальные методы в биометрии. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2007. 364 с.
9. Коросов А. В., Коросов А. А. Техника введения в ГИС: Приложение в экологии. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2006. 186 с.
10. Кузнецова Е. В. Экологическая тропа – цели, задачи, возможность организации // Экологическое просвещение: от теории к практике. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2004. С. 59–63.
11. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. М.: Радио и связь, 1991. 224 с.
12. Чижова В. П., Добров А. В., Захлебный А. Н. Учебные тропы природы. М.: Агропромиздат, 1989. 159 с.

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ ПЕТРОЗАВОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Сентябрь, № 3 **Биология** **2008**

УДК 639. 3

ЛЕОНИД ПАВЛОВИЧ РЫЖКОВ
доктор биологических наук, профессор кафедры зоологии и экологии эколого-биологического факультета ПетрГУ
rlp@psu.karelia.ru

ИРИНА МИХАЙЛОВНА ДЗЮБУК
кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии и экологии эколого-биологического факультета ПетрГУ
lkrup@petrsu.ru

БЕЛОЕ МОРЕ – РЕЗЕРВ РАЗВИТИЯ АКВАКУЛЬТУРЫ В КАРЕЛИИ

В статье обсуждаются возможности использования для развития аквакультуры в Карелии неосвоенных пресных водоемов и главным образом водных ресурсов Белого моря. Для организации садковой аквакультуры на Белом море предлагается трехэтапная зональная система ее функционирования. Предложен комплекс мероприятий, направленных на сохранение природных качеств водной среды, используемой в садковом рыбоводстве.

Ключевые слова: аквакультура, рыбоводство, садок, Белое море, зональная система, селекционно-генетический центр, питомник, посадочный материал, маточное стадо

На протяжении последнего десятилетия садковая аквакультура в Карелии развивается особенно интенсивно. В 2007 году в садковых хозяйствах республики было произведено 9300 т рыбной продукции, в том числе 6800 т товарной рыбы. По сравнению с 1998 годом общий объем производства рыбной продукции возрос в 9,6 раза и превысил более чем в три раза промысловый вылов рыбы в пресных водоемах. Этому способствовали географическое расположение и благоприятные природные условия Карелии, глубокая научная обоснованность этого направления развития рыбного хозяйства, решение кадровой проблемы и умелая организаторская деятельность квалифицированных специалистов, в том числе Общества форелеводов Карелии. Большое значение для развития этого направления имела всемерная поддержка правительства республики, активизировавшая деятельность фермеров. Уже в 2010 году в садковых хозяйствах планируется произвести не менее 12 тыс. т рыбной продукции, а в перспективе этот объем может быть увеличен вдвое.

Включение аквакультуры в приоритетный национальный проект «Развитие АПК» свидетельствует о признании государством перспективности этого направления в развитии рыбного хозяйства России. Это накладывает особую ответственность на Карелию, ставшую пионером садковой аквакультуры в естественных водоемах. Большинство специалистов и властных структур республики это хорошо понимают. В настоящее время уже имеется научно обоснованная программа развития садковой аквакультуры, созданы схемы ее зональной организации, в основном определены материальные возможности, осуществляется подготовка кадров, а также решается целый комплекс других вопросов, способствующих развитию этого направления.

Однако это не значит, что все проблемы решены. Как и во всей стране, остро ощущается отсутствие законодательной базы в области аквакультуры. Подготовка федерального закона «Об аквакультуре» происходит крайне медленно. В результате возникают сложности с выживанием

© Рыжков Л. П., Дзюбук И. М., 2008

существующих и организацией новых рыбоводных хозяйств. В частности, сдерживается создание зональной структуры функционирования садковой аквакультуры, отчего страна может потерять имеющиеся в настоящее время приоритеты.

Несомненно, создание современной законодательной базы и укрепление нормативно-технологической основы аквакультуры обеспечат необходимые условия для дальнейшего ее развития. Этому содействуют формирующиеся новые социально-экономические условия, потребности рынка в свежей рыбной продукции (особенно деликатесных видов) и сочетание огромных водных ресурсов с благоприятными природными условиями.

В Карелии не только названные условия находятся в самом благоприятном сочетании, но и имеется значительный резерв для дальнейшего развития садковой аквакультуры. В настоящее время садковое рыбоводство в республике в основном базируется на внутренних пресных водоемах. Морские же ресурсы практически не используются. Общее производство рыбной продукции в садковых хозяйствах Белого моря составляет около 100 т. Опыт же Финляндии, Норвегии, Швеции показал, что в морских водах можно выращивать сотни тысяч тонн ценной рыбной продукции и что это экономически выгодно.

Для Карелии резервом являются не только еще неосвоенные пресные водоемы, но главным образом Белое море с его уникальными природными условиями. Это обусловлено тем, что, в отличие от других арктических водоемов, Белое море слабо связано с океаном, водообмен с Баренцевым морем ограничен узким и неглубоким горлом. В то же время Белое море получает огромный береговой сток, в среднем равный 215 км^3 (колебания от 130 до 360 км^3). При этом своеобразное строение берегов и дна, динамика течений, континентальный арктический климат, смягченный близким теплым течением, и ряд других факторов обуславливают оригинальность облика флоры и фауны со специфическими беломорскими чертами. Все это определяет особенности функционирования экосистемы Белого моря [1], [6], [5] и др.

Площадь Белого моря – около 90 тысяч км^2, средняя глубина – 67 м, максимальная глубина – 350 м. Объем водной массы – 6 тыс. км^3. Протяженность береговой линии в карельской части моря – более 850 км. Берега большей частью высокие, скалистые, с весьма причудливыми формами. Карельский берег Белого моря изрезан многочисленными заливами, что еще более усложняет специфичность его экосистемы. Соленость вод в прибрежной зоне составляет около 20 ‰, к центру бассейна она увеличивается до 30–34 ‰. Аналогичным образом соленость изменяется от поверхности ко дну и с юга на север. Содержание кислорода обычно высокое, хотя четко наблюдаются суточные и сезонные колебания. Активная реакция воды в приустьевых участках рек обычно слабокислая (pH – 6,2–6,8). По мере удаления от берегов воды приобретают щелочной характер (pH – 7,8–8,5). Содержание легкоокисляемой органики чаще всего невысокое, перманганатная окисляемость колеблется в пределах 1,5–7,0 мгO_2/л. Обычно ее величина к центру моря уменьшается. Такая динамика количественных показателей легко окисляемых веществ обусловлена их высоким содержанием в речном стоке (ПО – 10–30 мгO_2/л). Нитратный азот в поверхностном слое воды летом обычно отсутствует, так как используется водорослями. На глубине и зимой его содержание возрастает до 40–100 мгN/м^3. Нитриты также чаще всего отсутствуют или содержатся в очень незначительных количествах (до 2,5 мгN/м^3). Аммонийный азот поступает в Белое море главным образом с речным стоком (более 100 мгN/м^3), поэтому к центру моря его содержание сокращается в 20–30 раз. Минеральный фосфор в прибрежных водах содержится в незначительных количествах (1–10 мгP/м^3), к центру моря его содержание возрастает в 5–10 раз. Кремний в Белом море не лимитирует развитие водорослей [2], [3].

Сильный поток солнечной радиации и большое количество поступающей с речным стоком органики (более 6 млн т в год) обеспечивают интенсивное развитие фитопланктона. Численность фитопланктона в некоторых районах моря достигает 140×10^6 кл/м^3 при биомассе 7232 г/м^3 (мидиевые плантации) при колебаниях средних показателей числа клеток от $9{,}2\times10^6$ кл/м^3 до 140×10^6 кл/м^3 при динамике биомассы в пределах 0,114 – 0,23 г/м^3 [10], [6] и др.

Биомасса зоопланктона, по материалам разных авторов, в зависимости от сезона, года, района исследования и глубины водоема колебалась от 1,7 до 322 мг/м^3. Максимальная биомасса зоопланктона в бассейне достигала 400 мг/м^3. В Онежском заливе в 2004 году биомасса летнего зоопланктона была 469 мг/м^3 [12], [13] и др.

Донные животные также распределяются весьма неравномерно. Биомасса их колеблется от 0,3 до 81,4 г/м^2 при изменениях численности от 88 до 3504 экз./м^2 [4], [11] и др.

Основными промысловыми видами рыб в Белом море являются сельдь, навага, корюшка, семга. В 1998–2002 годах добыча рыбы и других морепродуктов в карельской части Белого моря колебалась от 1653 до 2500 т, что в 2 раза ниже уловов начала 1990-х годов. В результате модернизации флота, изменения условий промысла и социальной среды наметилась слабая тенденция к увеличению объемов добычи рыбы и морепродуктов. Так, если в 2001 году было добыто 1653 т, то в 2002 году этот показатель вырос до 2500 т.

Гидролого-гидрохимические особенности вод Белого моря определяют не только его продукционные возможности, но и пространственную неоднородность распределения раститель-

ных и животных организмов. Особой неоднородностью такого размещения характеризуются водоросли. Так, фукусы обычно занимают верхнюю и среднюю литораль, ламинария и анфельция – сублиторальную зону. По данным О. А. Прониной [7], популяции водорослей Белого моря имеют нормальное развитие. Средняя плотность покрытия водорослями дна составляет в основном 50–70 %, а средняя биомасса фукоидов в разных районах колеблется от 5,3 до 11,9 кг/м^2. Приведенные выше материалы по зоопланктону и зообентосу также хорошо иллюстрируют пространственную неоднородность животных организмов.

Качественному составу фауны Белого моря свойственен смешанный характер. Обычно выделяются несколько биогеографических групп. Наиболее многочисленной группой является арктическая (более 80 %). В этой группе преобладают высокоарктические формы. Например, из рыб – навага и сайка, из моллюсков – *Bela nowaja-zemliensis* и другие. Наряду с арктическими формами, меньшая часть фауны Белого моря (до 23 %) представлена бореальными формами. Среди них можно назвать сельдей, треску, моллюсков *Cyprina islandica*, *Neptunea despecta typica* и других.

Пространственная неоднородность размещения и совместное существование в одном водоеме двух названных форм фауны, различных по условиям обитания, является одной из особенностей экосистемы Белого моря. Другой особенностью беломорской фауны является наличие в ней видов с разорванным ареалом. Это, прежде всего, бореальные виды, которых в Белом море насчитывается около 60. Среди них можно отметить названных ранее моллюсков. В меньшем числе среди видов с разорванным ареалом представлены высокоарктические формы. Это мизида, арктический моллюск (Portlandia arctica), гамаракантус и другие. Наряду с этим, в Белом море выявлены несколько представителей тихоокеанской фауны [1], в том числе акклиматизированная горбуша.

Названные особенности беломорской фауны обусловлены условиями геологически молодого Белого моря, которые сформировались в результате многочисленных оледенений на Европейском Севере, существования холодного Иольдиевого моря и теплого Лотаринового моря. При этом следует учитывать особенности самой котловины Белого моря, горло которой не способствовало интенсивному водообмену с северными водоемами. В частности, слабый водообмен с северными морями мог способствовать сохранению холодноводной иольдиевой фауны в беломорских глубинах. Изрезанность береговой линии, наличие многочисленных заливов, разнообразие биотопов, различные температурные условия, изменение солености также способствовали сохранению арктической иольдиевой и бореальной лотариновой фаун.

Краткий обзор природных особенностей Белого моря убедительно показывает, что беломорская водная экосистема весьма перспективна для развития аквакультуры. Особенно благоприятен для садковой аквакультуры карельский берег Беломорья, испещренный многочисленными заливами с опресненной морской водой. Еще одна особенность Белого моря – это возможность использовать для аквакультуры представителей арктической и бореальной фаун, морских и пресноводных сообществ.

Для организации садковой аквакультуры на Белом море и в его бассейне целесообразно использовать трехэтапную зональную систему ее функционирования [9]. Однако, учитывая особенности Беломорья, возникает необходимость ввести некоторые коррективы в размещение компонентов предложенной системы.

Конечно, как и в других зонах, вся беломорская система садковой аквакультуры должна быть привязана к конкретному селекционно-генетическому центру (этап 1). Такой центр может быть совмещен с работами по другим направлениям аквакультуры, например, с пастбищным лососеводством (семга, кумжа, кижуч, горбуша и др.), с озерным товарным рыбоводством (лососевые, сиговые, карповые). Разместить этот центр наиболее целесообразно в Карелии, имеющей большой опыт в организации садковой аквакультуры, в создании озерных товарных хозяйств и воспроизводстве рыбных запасов. При этом следует учитывать, что разнообразный состав ихтиофауны в водоемах Карелии будет способствовать использованию в аквакультуре «местных» видов рыб (пресноводный лосось, судак, лещ, сиги). В частности, такой центр можно разместить на Кемском рыбоводном заводе, а также в озерно-речных системах бассейна Белого моря, Онежского озера и т. д. В селекционно-генетическом центре (этап 1) всю работу по формированию маточного стада можно проводить в бассейнах, лотках и даже в прудах. Созданная продукция может реализовываться в виде элитных производителей, оплодотворенной икры на разных этапах развивающегося эмбриона, подращенных личинок, мальков и более крупной молоди для дальнейшего выращивания посадочного материала в специальных питомниках. Хочется особо предупредить рыбоводов, что перевозка рыбной продукции недопустима во время высокой чувствительности организмов к окружающей среде (гаструляция, дифференцировка органов, переход на питание и т. д.).

Питомники для выращивания посадочного материала целесообразно размещать в озерно-речных системах или в приустьевых участках рек в слабосоленой воде (этап 2). Известно, что все проходные лососи начало жизненного цикла проводят в пресноводных водоемах. Молодь же радужной форели успешно развивается в слабосоленой воде.

Схема организации садковой аквакультуры на Белом море и в его бассейне

В связи с тем, что требования рынка могут изменяться, создаваемые питомники должны быть приспособлены для выращивания разноразмерного и разновозрастного посадочного материала. Для этого в каждом питомнике целесообразно иметь не только садковые комплексы, но и бассейны. Поступающую в бассейны воду можно подогревать и тем самым ускорять рост молоди. Применение подогрева воды в бассейнах позволяет получать разноразмерную молодь одного возраста. В садках же размерный состав молоди более четко обусловлен ее возрастом. Полученная продукция реализуется на садковые фермы для получения товарной рыбы.

Фермы для выращивания товарной рыбы в садках могут создаваться в морских заливах (этап 3). Конечно, не исключается возможность формирования их в озерно-речных системах. Для создания товарных ферм необходимо четко определить их функциональные возможности и обязательно разработать рыбоводно-биологическое обоснование. Конечно, необходимо получить положительное решение государственной экологической экспертизы на формируемое хозяйство. Рыбная продукция реализуется в условиях рыночной экономики.

Опыт зарубежных стран показывает, что второй и третий этапы зональной организации садковой аквакультуры в Беломорье могут быть совмещены. При совмещении питомники размещаются в устьевой или в приустьевой части озерно-речной системы, а товарная ферма – в заливе этой же системы. Практически разместить садковые комплексы можно в бассейнах всех рек, впадающих в Белое море, хотя предпочтение следует отдать северо-западному побережью Белого моря.

Садковое рыбоводство на Белом море может сочетаться с промышленным выращиванием других видов гидробионтов. В этом направлении особенно перспективной является организация форелево-мидиевых ферм. При таком сочетании может существенно сократиться отрицательное воздействие форелеводства на окружающую среду. Мидии, являясь фильтраторами, будут использовать для своей жизнедеятельности большую часть органических компонентов остатков пищи форели и ее конечных продуктов метаболизма. Небольшие садковые хозяйства могут стать привлекательными для туристов. На их базе возможно организовать отличную рыбалку.

По материалам многих исследователей, на Белом море в садках можно выращивать не менее 10–20 тыс. т рыбной продукции. Достижению этих объемов будут способствовать достаточно высокое качество водной среды, ее невысокая соленость в прибрежных районах моря (что стимулирует рост рыб по сравнению с пресными водоемами на 15–20 %), наличие свободной рабочей силы, близость рынка и т. д.

Однако развитие садковой аквакультуры, помимо положительного эффекта, сопряжено с неизбежным отрицательным воздействием на водные экосистемы. При функционировании садковой аквакультуры в водную среду попадают остатки корма, выделяемые рыбами фекалии и отторгаемые конечные продукты метаболизма. В результате их трансформации в водной среде образуются продукты распада, оказывающие отрицательное влияние на качество водной среды (соединения фосфора, азота и др.) и общее состояние экосистемы. Чтобы вовремя предупредить негативные воздействия, процесс функционирования садковой аквакультуры должен сопровождаться экологическим мониторингом состояния водной среды и экосистемы в целом. Необходимость мониторингового сопровождения работ по аквакультуре была отмечена на X Международной научной конференции «Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря» [8].

В заключение следует отметить, что, наряду с пресноводными водоемами, имеются широкие возможности для развития садковой аквакультуры на Белом море. Об этом свидетельствуют как природные условия Беломорья, так и социально-экономическое состояние этого региона. Большинство исследователей считают, что на Белом море, особенно в его северо-западной части, можно выращивать в садках до 20 тыс. т рыбной продукции.

Основным путем садкового рыбоводства на Белом море должен стать зональный принцип организации хозяйственной деятельности, позволяющий сочетать выращивание посадочного материала в пресных водах и производство товарной рыбы в морских водах. Этому способствуют природные особенности Беломорья: ограниченная связь Белого моря с холодными и очень солеными водами северных морей и наличие опресненных эстуариев многочисленных рек этого бассейна.

Однако широкие возможности использования водных ресурсов Беломорья в рыбохозяйственном отношении будут определять растущую антропогенную нагрузку на экосистемы. Поэтому главным условием дальнейшего успешного развития рыбного хозяйства на Белом море, как и в других регионах Европейского Севера, становится эффективная защита водных экосистем и их биологических ресурсов от негативного воздействия интенсивно развивающейся садковой аквакультуры. Защита включает в себя комплекс мероприятий, направленных на сохранение природных качеств водной среды, используемой в садковом рыбоводстве. При освоении зональной структуры организации садковой аквакультуры эти мероприятия включают в себя следующее:

- научную оценку возможностей использования в рыбоводстве морских и пресноводных водоемов с учетом их экологической емкости;
- обязательную разработку биологического обоснования при создании каждого конкретного садкового хозяйства (РБО);
- мониторинговое сопровождение функционирования садковых хозяйств (экологический мониторинг);
- разработку конкретных мероприятий по сохранению водных экосистем от возможных отрицательных воздействий садковых хозяйств;
- ежегодную оценку и прогноз развития садкового рыбоводства для каждого региона с учетом типа и характера водоемов.

Таким образом, развитие садковой аквакультуры в морских и пресных водоемах будет и в дальнейшем эффективным только при предлагаемом научном подходе и использовании современных технологий. В настоящее время Белое море является морским резервом для дальнейшего успешного развития садковой аквакультуры в Карелии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гурьянова Е. Ф. Белое море и его фауна. Петрозаводск: Госиздат КФССР, 1948. 132 с.
2. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2005 году. Петрозаводск: Петро-Пресс, 2006. 343 с.
3. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2006 году. Петрозаводск: ГУ РК Издательский дом Карелия, 2007. 308 с.
4. Денисенко Н. В. Предварительные результаты современных исследований зообентоса сублиторали губы Чупа Белого моря // Тезисы докл. VIII регион. научно-практ. конф. «Проблемы изучения рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря» ЗИН РАН. Архангельск, 2001. С. 74–75.
5. Инжебейкин Ю. И. Особенности мезомасштабных вариаций абиотических компонентов экосистемы Белого моря // Тезисы докл. VIII регион. научно-практ. конф. «Проблемы изучения рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря» ЗИН РАН. Архангельск, 2001. С. 36–39.
6. Лапин Ю. Е. Экология рыб Белого моря. М.: Изд-во «Наука», 1978. 199 с.
7. Пронина О. А. Современное состояние сырьевых ресурсов водорослей Белого моря // Тезисы докладов VIII регион. научно-практ. конф. «Проблемы изучения рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря» ЗИН РАН. Архангельск, 2001. С. 20–29.
8. Рекомендации X Международной научной конференции «Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря». Архангельск, 2007. 8 с.
9. Рыжков Л. П., Нечаева Т. А., Евсеева Н. В. Садковое рыбоводство – проблемы здоровья рыб. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2007. 120 с.

10. Тараненко М. Н. Предварительные данные по распределению фитопланктона в районе мидиевого хозяйства бухты Соностровa Белого моря // Мат. докл. конф. «Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря» ЗИН РАН. Кандалакшский гос. заповедник. СПб, 1985. С. 99–100.
11. Телицина Л. А. К характеристике бентосных сообществ вершины Онежского залива в условиях антропогенного воздействия // Тезисы докл. VIII регион. научно-практ. конф. «Проблемы изучения рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря» ЗИН РАН. Архангельск, 2001. С. 107–108.
12. Трошков В. Ф., Слонова С. А. Зоопланктонные сообщества вершин заливов Белого моря // Тезисы докл. VIII регион. научно-практ. конф. «Проблемы изучения рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря» ЗИН РАН. Архангельск, 2001. С. 108–111.
13. Трошков В. А., Слонова С. А., Македонская И. Ю. К итогам пятилетних исследований планктона Белого моря // Материалы 2-й Международной конференции «Экологические исследования беломорских организмов». СПб., 2007. С. 135–136.
14. Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. Л.: Изд-во «Наука», 1990. 264 с.

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ ПЕТРОЗАВОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Сентябрь, № 3 **Биология** **2008**

УДК 591.16:599.323.4(470.22)

АЛИНА ЕВГЕНЬЕВНА ЯКИМОВА
кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории зоологии Института биологии КарНЦ РАН
ayakimova@mail.ru

РАЗМНОЖЕНИЕ РЫЖЕЙ ПОЛЕВКИ (*Clethrionomys glareolus Shreb.*) В КАРЕЛИИ

В статье рассматриваются сроки, динамика и особенности размножения рыжей полевки в Карелии, связанные с обитанием вида на пределе ареала.

Ключевые слова: рыжая полевка, размножение, возрастные группы

В настоящее время большое значение приобретают исследования экологии видов, выяснения механизмов функционирования популяции с целью управления ими.

Всестороннее изучение биологии грызунов, составляющих вместе с насекомоядными млекопитающими основу лесных териокомплексов, имеет большое теоретическое и прикладное значение.

Рыжая полевка принадлежит к доминирующим видам лесов Северо-Запада России и Карелии. Она играет важную биоценотическую роль, являясь основной жертвой мелких и средних хищников, а также основным прокормителем иксодовых клещей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Полевые исследования проводились на базе Ладожского териологического стационара, расположенного в окрестностях д. Каркку Питкярантского района РК, на юго-восточном побережье Ладожского озера, в течение 36 лет его работы (1966–2001 гг.). При этом в анализ включены не только исследования автора (1993–2001), но и материалы предыдущих исследований (1966–1993).

Отлов зверьков проводился с июня по август (в некоторые годы – с марта по сентябрь) методом ловушко-линий и ловчих канавок. Капканчики Геро расставлялись линиями по 25–100 ловушек, численность зверьков при этом определялась в экземплярах на 100 ловушко-суток. Использовались ловчие канавки длиной 30 метров и глубиной 15 сантиметров с тремя ловчими цилиндрами. Численность отловленных зверьков выражалась в экземплярах на 10 канавко-суток. Всего отработано 2361 канавко-суток и 71479 ловушко-суток, отловлено 6790 зверьков.

Исследования проводились во всех основных биотопах, заселенных мелкими млекопитающими в данном районе. Регулярными отловами были охвачены: сосняк черничный, ельник кисличный, зарастающая вырубка (ветровал и рубка 1977–1978 годов), лиственное мелколесье, окраина сеяного луга, ельник зеленомошный.

Пойманные зверьки регистрировались, определялся их пол, вес, линейные размеры, состояние половой системы, содержимое желудка. Возраст животных устанавливался позднее в лабораторных условиях по фиксированному черепу, согласно методике, предложенной Тупико-

© Якимова А. Е., 2008

вой с соавторами [10]. Данный метод позволяет устанавливать возраст каждого зверька с точностью до двух месяцев (по степени развития корней M_2). Дополнительно рассматривали развитие тимуса, вес, длину тела, развитие половой системы и т. д.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Потенциал размножения рыжей полевки лишь немногим меньше, чем таковой серых полевок. По данным Н. В. Башениной с соавторами [4], в яичнике молодых самок число первичных яйцеклеток достигает 40–50 тыс., у половозрелых – около 30 тыс. На одном срезе яичника взрослой размножающейся самки можно увидеть до 20–25 фолликулов на разных стадиях созревания. Таким образом, запас половых клеток почти в тысячу раз превышает его реализацию.

О начале размножения можно судить по стадиям полового цикла и изменениям гонад у добытых зверьков. В средней полосе размножение начинается в конце апреля, на Европейском Севере наблюдаются примерно те же сроки [7], [2], [5]. В Карелии с марта по первую декаду мая происходит быстрое увеличение длины и веса семенников и размеров семенных пузырьков. Длина семенника увеличивается за это время с 5.6 до 12.1 мм, вес – с 78 до 745 мг, длина vesicula seminalis – с 0.6 до 10.4 мм. В дальнейшем в течение всего лета семенники и придатки у взрослых особей сохраняют крупные размеры, варьируя в сравнительно небольших пределах: семенники в среднем от 11.6 до 12.5 мм и от 682 до 917 мг, семенные пузырьки – от 10.3 до 13.9 мм [5].

До марта самки имеют тонкую матку со слабо выраженной складчатостью, длина рогов обычно не превышает 10–12 мм, диаметр – 1–1.5 мм. Влагалище закрыто. Яичники мелкие, вес их 3–11 мг. В апреле наступает течка, а затем – беременность. Половое отверстие открывается, края его сильно припухают и покрываются слизью, диаметр влагалища и рогов матки увеличивается до 2–3 и даже 4 мм. Матка на поперечном разрезе из-за сильной складчатости имеет звездчатую форму, стенки ее набухают и утолщаются, длина рогов достигает 20–30 мм. Вес яичников увеличивается до 20–30 мг, а после родов – до 40–70 мг [5]. У беременных самок появляются желтые тела, среди которых можно различить несколько генераций.

В Ленинградской области размножение начинается в последней декаде апреля. Первые беременные самки добывались в мае [1].

Незначительные колебания в сроках начала размножения – около двух недель – отмечались на Кольском полуострове [6], что связано с фенологией весны.

В Карелии первые беременные самки были отловлены 20 апреля, самая поздняя дата – 20 мая, средняя многолетняя – 3 мая. Это говорит о довольно значительных (с амплитудой около месяца) колебаниях в сроках начала размножения. Подобные отклонения связаны, очевидно, со сроками наступления весны и состоянием кормовой базы. В годы с ранней дружной весной размножение начиналось на 2–3 недели раньше, чем при позднем наступлении весны. Это можно объяснить тем, что весеннее наращивание веса – необходимое условие для размножения – начинается у рыжих полевок только после схода снега, поэтому поздние весны приводят к задержке репродукции.

Не меньшее значение имеет численность перезимовавшего населения. При высокой плотности весенней популяции начало размножения задерживается более чем на неделю. Сроки вступления в размножение отдельных самок сильно варьируют.

Таблица 1

Сроки размножения рыжей полевки в Карелии по данным отлова в 1948–1972 годах [5]

Показатель	Число лет наблюдений	Крайние даты	Средняя многолетняя
Дата первого отлова:			
беременной зимовавшей самки	9	20.04.60–20.05.65	03.05
кормящей зимовавшей самки	9	10.05.53–30.05.58	17.05
зимовавшей самки со второй беременностью	11	06.06.66–17.06.65	10.06
Прибылых	12	18.05.66–17.06.67	03.06
беременной прибылой самки	9	13.06.62–16.07.64	02.07
кормящей прибылой самки	8	14.06.72–12.07.69	05.07
Дата последнего отлова:			
зимовавшего зверька	14	18.08.64–12.10.67	09.09
беременной прибылой самки	10	27.08.66–28.09.58	04.09
кормящей прибылой самки	10	14.09.51–13.10.58	21.09

Первые молодые полевки отлавливались в конце мая – начале июня (табл. 1), но массовый выход молодняка приходится на вторую половину июня. В это же время наблюдались и первые случаи рождения второго выводка.

Время окончания размножения популяции определяется прибылыми самками, поскольку зимовавшие особи исчезают в августе. Сроки окончания размножения очень сильно различаются по годам, что связано с плотностью популяции. При высокой интенсивности весенне-летнего размножения, приводящей к раннему наступлению сезонного пика численности, раз-

множение популяции в Карелии резко затормаживается уже в августе. В условиях медленного нарастания численности период размножения растягивается, захватывая весь сентябрь.

Общую картину размножения перезимовавших полевок можно проследить по изменению числа беременных и кормящих самок (табл. 2). Первый пик размножения приходится на середину мая: все отловленные самки беременны или кормят молодых. В конце мая намечается небольшой спад в размножении взрослых зверьков (что видно по снижению доли беременных самок и снижению отлова молодых во второй половине июня), но в первой декаде июня, а затем в начале июля и середине августа размножение вновь становится более интенсивным: взрослые самки приносят повторные выводки. Позже число беременных самок постепенно снижается, и к началу сентября таковые в отловах вообще не встречаются. Таким образом, сезон размножения зимовавших рыжих полевок охватывает почти весь бесснежный период и длится с конца апреля – начала мая по сентябрь. Большинство перезимовавших самок имеют за это время не менее двух выводков.

Таблица 2

Интенсивность размножения зимовавших самок рыжей полевки(сводные данные за 1958–1972 годы) [5]

Месяц	Декада	Общее число исследованных самок	Относительное количество самок (% от общего числа)					
			в течке	беременных	кормящих	беременных и одновременно кормящих	рожавших	без следов размножения
март	I. II	4	–	–	–	–	–	100
апрель	II, III	6	16.7	16.7	–		–	66.6
май	I	3	33.3	66.6	–	–	–	–
	II	10	–	70.0	20.0	10.0	–	–
	III	15	13.3	60.0	13.3	6.7	6.7	–
июнь	I	8	–	75.0	25.0	–	–	–
	II	35	–	47.2	26.9	23.1	–	2.8
	III	10	–	30.0	20.0	40.0	10.0	–
июль	I	22	–	54.5	36.4	9.1	–	–
	II	32	–	42.3	36.7	3.3	16.7	–
	III	41	–	48.7	20.5	10.2	15.4	5.2
август	I	18	–	38.6	38.6	7.6	7.6	7.6
	II	18	–	50.0	33.4	–	8.3	8.3
	III	4	–	50.0	25.0	–	25.0	–
сент.	I							
	II	2	–	–	–	–	100	–
	III	2	–	–	–	–	100	–
окт.	I	3	–	–	–	–	100	–

Темп размножения рыжей полевки в обычные годы можно представить следующим образом. Первое спаривание происходит в конце апреля – начале мая, рождение молодых – в третьей декаде месяца, выход последних из гнезд и расселение – в середине июня. Это первая генерация.

Второе спаривание происходит в конце мая – июне, рождение детенышей – во второй половине июня – начале июля, выход и расселение их – с середины июля по первую декаду августа. Третий выводок рождается в июле – августе и появляется в уловах начиная с конца июля. Участие взрослых самок в размножении почти поголовное. В мае – июле из общего числа исследованных взрослых самок без следов размножения оказалось всего 1.7 %. Небольшое увеличение этого показателя в августе связано, очевидно, с тем, что видимость плацентарных пятен у рыжих полевок часто не превышает двух месяцев [8], поэтому в группу «без следов размножения» могут попадать самки, родившие выводок в мае и после этого не размножавшиеся.

В табл. 3 сопоставлено участие в размножении самок рыжей полевки в годы с разным уровнем весенней численности и степенью ее нарастания к осени. После низкой весенней численности интенсивность размножения взрослого населения была наибольшей. Это связано с тем, что большинство особей приносили в эти годы 2–3, а некоторые и 4 выводка за сезон. Участие их в размножении на протяжении весенне-летнего сезона было максимальным. Наоборот, в годы высокой весенней численности размножение взрослых самок было заторможено, причем не за счет яловости отдельных зверьков, а вследствие снижения интенсивности размножения у всех самок. Основная их масса давала 1–2 выводка за лето, то есть участие их в размножении было сравнительно низким. При этом в годы высокой весенней численности размножение популяции начиналось позднее обычного. Это сократило период репродукции и, следовательно, также обусловило снижение числа выводков у взрослых самок.

В Лапландском заповеднике Т. В. Кошкина [6] также обнаружила значительные различия в числе пометов, приносимых рыжими полевками в разные годы. В годы пика и следующей за ним глубокой депрессии численности, проходившей на фоне неурожая семян ели, более 75 % самок давали по одному помету, менее 25 % – по два. В годы же подъема численности зверьков и хорошего урожая семенных кормов большинство самок приносили 2, а некоторые – 3 помета.

Существует зависимость участия в размножении от времени рождения молодых особей. Чем раньше родились зверьки, тем быстрее и интенсивнее они растут и развиваются, тем раньше они созревают и вступают в размножение. Это в равной мере относится и к самцам, и к самкам и находит косвенное подтверждение в изменении начального веса размножающихся особей разного времени рождения. По данным Ивантера [5], полевки майских выводков начи-

нают размножаться уже с веса 12–14 г, июньского – 16–19 г, июльского – 20–21 г. Параллельно этому изменяется доля участия прибылых в размножении. Среди молодых самок майских выводков, достигших двухмесячного возраста, размножались в среднем 88,3 % (с колебаниями по годам от 45 до 100 %), из июньских – 76 % (29–83), июльских – 6,8 % (0–10,5) [5].

Таблица 3

Участие в размножении самок рыжей полевки в годы с разной интенсивностью нарастания численности

Возрастная группа	Месяц	Годы низкой весенней численности и интенсивного нарастания ее к осени		Годы средней весенней численности и среднего темпа нарастания ее к осени		Годы высокой весенней численности и слабого нарастания ее к осени	
		n	число размножающихся, %	n	число размножающихся, %	n	число размножающихся, %
Зимовавшие	май	4	100	17	94.1	6	66.6
	июнь	10	100	18	100	14	71.4
	июль	26	84.6	54	90.7	11	72.7
	авг.	16	93.7	13	76.9	2	50.0
Прибылые ранних выводков	июнь	12	50.0	32	37.5	7	14.3
	июль	91	64.8	78	62.8	20	40.0
	авг.	62	87.1	26	84.6	15	53.3
	сент.	33	36.4	16	56.2	5	60.0
Прибылые поздних выводков	авг. – сент.	375	4.6	153	2.6	59	5.0

Размножение самок майского и июньского приплода начинается в июне, но особенно интенсивно проходит в июле и августе. В сентябре размножение постепенно затухает и в октябре прекращается вовсе. Последние встречи беременных и кормящих самок приходятся на конец сентября – начало октября.

Число выводков, которые успевает принести за лето каждая прибылая самка, зависит от времени ее рождения и продолжительности жизни. Родившиеся в начале мая и дожившие до осени при благоприятных условиях приносят не менее трех пометов, а появившиеся на свет позднее или погибшие летом – только один или два. Прибылые позднего (июльского) рождения, если и размножаются в текущем году, то дают за сезон не более одного выводка.

Самцы, родившиеся позднее июня, начинают размножаться только следующей весной, после зимовки. Большая часть самцов, родившихся позднее июня, в год рождения не созревают и размножаются только следующей весной, после зимовки.

Как и у зимовавших самок, интенсивность размножения прибылых полевок меняется по годам и имеет обратную зависимость от весенней плотности популяции [5]. В годы низкой весенней численности молодые самки не только более интенсивно созревают, в большем количестве и раньше вступают в размножение, но и приносят больше выводков, вследствие чего их участие в размножении намного выше, чем в годы средней и высокой исходной численности (табл. 3). Именно они являются тем буфером, за счет которого популяция восстанавливает свою численность после периода депрессии. При низкой весенней численности репродукция, как правило, проходит более интенсивно, и это приводит к раннему насыщению территории зверьками. Отсюда и раннее прекращение их размножения. Таким образом, позднелетнее – осеннее размножение прибылых самок ориентировано не на весенний, а на летний уровень плотности популяции [5].

Зверьки, родившиеся летом и осенью, уходят зимовать неполовозрелыми. Такое же явление Т. В. Кошкина [6] описывает для Лапландского заповедника, где отмечались резкие различия в скорости созревания сеголеток в разные годы. В годы подъемов численности, которые были и годами хорошего урожая семян, грибов и ягод, у молодых зверьков наблюдался интенсивный рост, они достигали крупных размеров и начинали созревать в возрасте 35–40 дней. В годы пиков и депрессий численности, проходивших при неурожае семенных кормов, рост молодняка был замедленным, созревать отдельные особи из первых выводков начинали лишь с пятидесятидневного возраста, и большая часть молодых уходили на зимовку неполовозрелыми.

Быстро развивающиеся сеголетки ранних выводков, почти поголовно участвующие в размножении в год рождения, обеспечивают рост населения к осени текущего года, а родившиеся во второй половине лета служат резервом популяции для следующего сезона размножения.

Созревание ранних и несозревание поздних прибылых, а также существование в популяции двух разнокачественных возрастных генераций служат важнейшим условием нормального существования популяции, обуславливают ее устойчивость, равномерное и успешное воспроизводство. Число выводков, приносимых самками рыжей полевки в течение сезона размножения, показано в табл. 4.

В мае большинство зимовавших самок имеют 1 выводок, в июне – 1–2, в июле и августе – 2, в сентябре – 1–2 выводка, причем в июне, июле и августе имеются зимовавшие самки, не участвующие в размножении. В среднем за сезон размножения зимовавшие самки приносят два (47.7 % самок) или один (37.5 %) выводок.

Таблица 4

Число выводков у зимовавших и прибылых самок рыжей полевки в разные месяцы сезона размножения в 1958–2001 годах

Месяц	Общее число исследованных самок	Относительное количество самок (% от общего числа) с числом выводков				
		0*	1	2	3	4
Зимовавшие						
май	48	–	81.3	18.7	–	–
июнь	82	2.4	40.2	47.6	9.8	–
июль	121	1.7	24.8	56.2	17.3	–
август	45	2.2	17.8	55.6	22.2	2.2
сентябрь	8	–	50	50	–	–
Всего	304	1.6	37.5	47.7	12.8	0.4
Прибылые ранних (май – июнь) выводков						
июнь	94	61.7	37.2	1.1	–	–
июль	316	33.9	54.4	11.4	0.3	–
август	196	11.2	39.3	44.4	5.4	–
сентябрь	105	12.4	31.4	43.8	12.4	–
Всего	711	28.1	44.6	23.9	3.4	–
Прибылые поздних (июль – сентябрь) выводков						
июль	143	97.9	2.1	–	–	–
август	248	87.1	12.9	–	–	–
сентябрь	359	92.8	6.4	0.6	–	–
Всего	750	92.0	7.7	0.3	–	–

* В графе 0 – самки без видимых следов размножения.

Прибылые самки ранних выводков, в большинстве своем в июне не размножающиеся, в июле имеют 1 выводок (54.4 % самок), в августе и сентябре – 2 выводка (44.4 и 43.8 % соответственно). В целом за сезон размножения большинство самок (44.6 %) имеют один выводок.

Т. В. Кошкина [6] отмечает, что на Кольском полуострове в годы подъема численности и обилия полноценных кормов самки первых выводков, родившиеся в июне, приносили за сезон 2 выводка, родившиеся в июле давали по одному выводку, родившиеся в августе и сентябре не достигали половой зрелости. В годы пика и депрессии, при неурожае семян ели единичные достигшие половой зрелости молодые самки принесли за лето по одному помету.

Прибылые самки поздних выводков практически не размножаются в течение первого года жизни (92.0 %) либо малая их часть (7.7 %) приносит один выводок.

Средняя величина выводка у зимовавших самок на основании подсчета эмбрионов и плацентарных пятен у 311 экземпляров самок рыжей полевки оказалась равной 5.77±0.66 эмбриона (табл. 5). Размер выводка у зимовавших полевок закономерно изменяется по сезонам. В мае и июне он равен 5.17±0.64 и 5.56±0.76 эмбриона соответственно, в июле – 6.13±0.71, в августе – 5.81±0.71, в сентябре – 5.41±0.76 эмбриона, что связано со снижением интенсивности размножения и естественной элиминации данной группы зверьков из популяции к осени.

Таблица 5

Вариации величины выводка у зимовавших самок рыжей полевки в 1958–2001 годах

Месяц	Общее число беременных самок	Количество самок (экз.) с числом эмбрионов										Среднее число эмбрионов на 1 самку
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
май	47	6	7	16	13	2	2	1	0	0	0	5.17±0.64
июнь	77	3	6	35	18	11	2	1	1	0	0	5.56±0.76
июль	127	0	13	27	43	28	11	2	1	2	0	6.13±0.71
август	43	0	8	5	16	8	4	1	0	0	0	5.81±0.73
сент.	17	2	3	2	6	4	0	0	0	0	0	5.41±0.76
Всего	311	12	37	85	96	53	19	5	2	2	0	5.77±0.66

Достоверные материалы по размерам выводков зимовавших самок приводит Т. В. Кошкина [6] для Лапландского заповедника. В годы пика или при глубокой депрессии численности, совпадающей с неурожаем семенных кормов, выводок у зимовавших самок составлял в среднем 4.25, наиболее часто – 5 детенышей. В годы нарастания численности, при наличии семенных кормов величина пометов была 5.74, наиболее часто – 6, и с весны до осени пометы увеличились с 4.85 до 6.1 в связи с увеличением кормов в конце лета.

Данные о величине выводка у прибылых особей представлены в табл. 6. В среднем для 555 исследованных самок она равна 5.79±0.62 эмбриона, то есть практически такая же, как и у взрослых особей. При этом с возрастом средняя величина выводка постепенно увеличивается. Сезонные изменения менее отчетливы. Можно говорить лишь об увеличении плодовитости в сентябре.

Таблица 6

Вариации величины выводка у прибылых самок рыжих полевок за 1958–2001 годы

Месяц	Общее число беременных самок	Количество самок (экз.) с числом эмбрионов										Среднее число эмбрионов на 1 самку
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Прибылые ранних выводков												
июнь	41	3	4	9	14	5	3	3	0	0	0	5.85±0.64
июль	182	3	26	58	52	27	8	5	0	1	1	5.69±0.65
август	160	3	23	45	55	22	12	0	0	0	0	5.66±0.72
сент.	103	4	16	21	23	17	14	2	5	0	1	6.12±0.50
июнь – сент.	486	13	69	133	144	71	37	10	5	1	2	5.79±0.62
Прибылые поздних выводков												
август – сент.	69	1	11	21	16	14	2	2	2	0	0	5.80±0.63
Всего	555	14	80	154	160	85	39	12	7	1	2	5.79±0.62

В Лапландском заповеднике Т. В. Кошкина [6] установила, что в годы подъемов численности и обилия семенного корма среднее число эмбрионов у сеголеток составляло 5.26.

Географическая изменчивость размеров выводка рыжих полевок на территории Северо-Запада представлена в табл. 7. Сравнив данные, полученные различными исследователями, можно отметить, что средняя величина выводка, приносимого самками рыжих полевок в разных частях анализируемой территории, значительно не отличается, но несколько ниже на Кольском полуострове, по сравнению с соседними областями. При этом близкое к верхнему пределу число эмбрионов отмечено в Карелии (11 и 12) и в Ленинградской области (10). На Кольском полуострове верхний предел числа эмбрионов ниже (8 и 9).

Таблица 7

Географическая изменчивость размеров выводка (по [4] с дополнениями)

Район исследования	Число исследованных особей	Величина выводка		Использованные данные
		пределы	среднее	
Кольский п-ов	104	1–8	5.27	[6]
Кольский п-ов	–	1–9	5.5	[4 (Семенов-Тян-Шанский)]
Карелия	21	4–8	5–6	[4 (Марвин)]
Карелия	538	1–11	5.84	[4 (Ивантер)]
Карелия	866	1–12	5.78	наши данные
Ленинградская область	–	3–7	5–6	[4 (Смирнов)]
Ленинградская область	–	2–10	5.6	[1]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для популяции рыжей полевки в Карелии особенности размножения играют важную роль для поддержания численности. Размножение здесь наступает позднее, чем в других частях ареала, и сроки зависят от времени начала весны. Время окончания размножения зависит от плотности популяции и также сильно варьирует по годам.

Перезимовавшие самки участвуют в размножении с мая по сентябрь, принося 2–3 выводка за сезон. Количество выводков зависит от плотности популяции.

Прибылые самки майского и июньского рождения начинают размножаться в июне, с максимумом в июле и августе, завершая размножение к октябрю. При этом приносят 1–2 (при благоприятных условиях – 3) помета за сезон. «Позднерожденные» самки дают не более одного выводка; самки, рожденные в августе и сентябре, уходят зимовать неразмножавшимися.

Самцы раннего рождения начинают участвовать в размножении, достигнув меньшего веса, чем самцы, родившиеся позднее. Самцы позднелетнего рождения в год рождения не созревают и размножаться начинают следующей весной.

Такая сложная структура процесса размножения в популяции рыжей полевки Карелии связана с тем, что после суровой зимы и часто неблагоприятных условий ранней весной именно зверьки раннего рождения являются той частью популяции, которая дает максимальный вклад в восстановление численности. Подобный механизм является адаптацией популяции к обитанию в суровых условиях периферии ареала.

Автор выражает благодарность Э. В. Ивантеру и сотрудникам лаборатории зоологии Института биологии КарНЦ РАН, принимавшим участие в сборе и обработке материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айрапетьянц А. Э. Насекомоядные и грызуны // Звери Ленинградской области. Л.: Изд-во ЛГУ, 1970. С. 160–165.
2. Башенина Н. В. Материалы к экологии мелких млекопитающих зоны европейской тайги // Учен. зап. Перм. пед. ин-та. 1968. Т. 52. С. 3–44.
3. Грищенко А. Е. Особенности экологии рыжей полевки в северо-восточном Приладожье: Автореф. дис. … канд. биол. наук. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1993. 21 с.
4. Европейская рыжая полевка. М.: Наука, 1981. С. 193–211.
5. Ивантер Э. В. Популяционная экология мелких млекопитающих таежного Северо-Запада СССР. Л: Наука, 1975. С. 110–156.
6. Кошкина Т. В. О периодических изменениях численности полевок (на примере Кольского полуострова) // Бюллетень МОИП. Отдел биологический. 1966. Т. 71. Вып. 3. С. 14–26.
7. Попов В. А. Млекопитающие Волжско-Камского края. Казань: Казан. фил. АН СССР, 1960. 486 с.
8. Свириденко П. А. К методике определения величины выводка у грызунов по плацентарным пятнам // Бюллетень Моск. об-ва испыт. прир. Биология. 1958. Т. 63. Вып. 2.
9. Тупикова Н. В., Сидорова Г. А., Коновалова Э. А. Определитель возраста лесных полевок // Фауна и экология грызунов. 1970. Вып. 9.
10. Тупикова Н. В., Коновалова Э. А. Размножение и смертность рыжих полевок в южнотаежных лесах Вятско-Камского междуречья // Фауна и экология грызунов. 1971. Вып. 10. С. 145–171.
11. Fuller W.A., Stebbins L.L., Dyke G.R. Overwintering of small mammals near Grate Slave Lake Northern Canada // Arctic. 1969. V. 22. № 1.

Сентябрь, № 3 **Сельское и лесное хозяйство** **2008**

УДК 636.087.72

ОЛЬГА АЛЕКСАНДРОВНА НОВОЖИЛОВА
преподаватель кафедры зоотехнии, товароведения и экспертизы продовольственных товаров агротехнического факультета ПетрГУ
olianovozhilova@mail.ru

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

АНАТОЛИЙ ЕФРЕМОВИЧ БОЛГОВ
доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой зоотехнии, товароведения и экспертизы продовольственных товаров агротехнического факультета ПетрГУ
bolg@psu.karelia.ru

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

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШУНГИТА В РАЦИОНАХ БРОЙЛЕРОВ

Уникальный карельский природный минерал шунгит широко используется в промышленности, металлургии, строительстве, медицине. Известны попытки использования шунгита как добавки при кормлении животных, однако научные основы применения его в животноводстве, в частности в птицеводстве, почти не разработаны. Между тем серьезный научный и практический интерес представляют исследования по использованию в кормлении бройлеров шунгита как источника макро- и микроэлементов, средства профилактики микотоксикозов (грибковых болезней) и «кормовых» стрессов, носителя сорбционных свойств, как тонизирующего, обладающего антигистаминным эффектом, фактора.

Ключевые слова: шунгит, комбикорм (кормосмесь), «кормовой» стресс, рацион, фракция помола, норма кормления, среднесуточный прирост

Одной из серьезных проблем промышленного птицеводства является использование недоброкачественных комбикормов. Качество кормового сырья имеет стабильную тенденцию к ухудшению. При оценке кормосмесей для бройлеров и курнесушек на карельских птицефабриках установлен дисбаланс различных питательных веществ, в том числе минерального состава, из-за изменения структуры зерновых в кормосмеси (традиционные зерновые – кукуруза, соевый шрот – заменены на пшеницу и ячмень с меньшей питательностью и более низкой усвояемостью).

Перечисленные факторы являются основной причиной «кормовых» стрессов. Снятие негативных последствий стресса возможно включением в состав комбикорма природных (цеолит) и искусственных антиоксидантов, дополнительных доз витаминов, ферментов. Дешевле и эффективнее использовать природные ресурсы Карелии – фукусовые водоросли, минеральные соединения.

В Карелии имеется природный минерал шунгит. Основным компонентом шунгитовой породы является шунгитовый углерод – минеральная составляющая, содержащая макроэлементы в виде окислов: SiO_2, TiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, MgO, Na_2O, K_2O и микроэлементы: селен, марганец, йод, цинк, медь, кобальт и др. [2], [3].

Известно применение шунгитовой породы для минерализации питьевой воды, обогащения ее микроэлементами в целебных целях, в качестве тонизирующего, обладающего антигистаминным эффектом, средства для минеральных ванн, в качестве сорбента для очистки питьевой воды и очистки сточных вод [1]. Представляет интерес использование шунгита в качестве ми-

© Новожилова О. А., Лери Н. А., Болгов А. Е., Макарова В. Е., 2008

неральной подкормки и как природного сорбента в рационах животных.

Сотрудниками кафедры зоотехнии агротехнического факультета ПетрГУ в 2001 году был поставлен первый эксперимент по использованию шунгита в рационах птицы.

Цели и задачи исследования: изучить влияние кормовой добавки шунгита разных фракций помола на сохранность птицы, динамику живой массы и потребление корма; определить наиболее эффективную дозу и фракцию помола шунгита в рационе; обосновать возможности использования шунгита Зажогинского месторождения в рационах бройлеров в качестве минеральной добавки и антистрессора.

Работа выполнялась на Петрозаводской птицефабрике на бройлерах финального гибрида Барос-123 с 9- до 43-дневного возраста. Группы формировались по методу групп-аналогов по живой массе (1 контрольная и 4 опытных группы), в каждой группе по 50 голов.

Опыт проводился по общепринятой схеме – предварительный, переходный, основной периоды. Переходный период – время привыкания к новой минеральной подкормке. Птица содержалась в клеточных батареях КБУ-3 по 10 голов в каждой. Плотность посадки, фронт кормления и поения, а также показатели микроклимата соответствовали рекомендациям ВНИИТИП (2000).

Цыплята контрольной и опытных групп получали до 14-го дня основной рацион – полнорационный комбикорм ПК-5-2017, в финишный период (29–42-й дни) – ПК-6-2016 производства Кондопожского комбикормового завода.

Доработку рациона для бройлеров контрольной и опытных групп по обменной энергии, содержанию протеина и аминокислот в соответствии с нормами кормления проводили в кормоцехе птицефабрики путем включения мясокостной муки (МКМ) в количестве 4 % от массы кормосмеси (для бройлеров 14–28-го дней) и 5 % (29–43-го дней) и растительного масла, соответственно 3 и 4 %.

В опытный период в рацион 1-й и 2-й опытных групп 1–1,5 % массы основного рациона заменяли шунгитом в виде порошка, а в 3-й и 4-й группах таким же количеством шунгита фракции помола 2–3 мм.

Доработанный состав комбикорма оставался неизменным для каждой возрастной группы. Структура комбикормов для бройлеров представлена в табл. 1.

Таблица 1

Структура комбикормов для бройлеров, %

Состав рецепта	Рецепт комбикорма	
	ПК-5-2017	ПК-6-2016
Корма зерновые	59	68
Жмых, шрот	20	15
Животные корма	8	7
Дрожжи	5	5
Минеральные корма	1	1,8
Масло растительное	3	4

В структуре комбикорма доля зерновых, шротов, дрожжей, минеральных добавок и растительного масла не превышала допустимых норм включения. Зерновой основой полнорационного комбикорма (ПК) были ячмень и пшеница.

Кормосмеси по основным показателям питательности соответствовали нормам кормления. Установлены отклонения по содержанию витаминов и микроэлементов. Дефицит относительно нормы железа составлял до 68–72 %, цинка – до 33–35 % и меди – до 60 % в кормосмеси до включения шунгита.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Включение в рацион бройлеров шунгита в виде порошка и крупки оказало положительное влияние на динамику роста птицы.

Одним из показателей роста и развития птицы является среднесуточный прирост. За период опыта (29 дней) наибольший среднесуточный прирост был в 1-й и 3-й опытных группах с 1 % шунгита в кормосмеси – 47,1 г. Во 2-й и 4-й группах с 1,5 % шунгита от массы корма среднесуточный прирост составил 45,5 и 45,6 г. Эти показатели выше, чем в контрольной группе, на 3,8–2,2 г.

В условиях ограничения витаминного питания и дефицита зольных элементов в рационах ростового, откормочного и финишного периодов включение комплексной природной минеральной подкормки в количестве 10 и 15 г на 1 кг кормосмеси сглаживает отрицательные последствия «кормового» стресса, стимулирует рост, развитие и выживаемость бройлеров.

Финишный период откорма (36–43-й сутки) совпал с аварией на подстанции электросети в период грозы. Отсутствие света, вентиляции в птичнике, недостаточная подача воды и корма в течение 12 часов (суммарный «кормовой» и «технологический» стресс) снизили выживаемость птицы в птичнике и сократили прирост. Из 65 павших от удушья бройлеров в контрольной батарее на долю опытных групп приходилось 2 головы (по одной во 2-й и 4-й группах), что составляет 1 % от общего поголовья, в контрольной группе падеж составил 3 головы, или 6 % от общего поголовья. Снижение среднесуточного прироста в период стресса относительно предыдущего периода составило в опытных группах 15 г: с 50,4–53,4 до 35,7–38,6 г ($P<0,001$) и в контрольной группе – 16,4 г: с 48,9 до 32,5 г ($P<0,001$).

Высокую выживаемость птицы и относительно меньшее снижение прироста живой массы бройлеров опытных групп можно рассматривать как положительный фактор влияния шунгита в экстремальных условиях содержания бройлеров. Ростостимулирующий эффект шунгита, возможно, обусловлен не только антистрессовым, но и адаптационным свойством минерала.

Среднесдаточная живая масса бройлера на хозяйственном рационе составила 1511,6 кг, при

включении 10 г шунгита на 1 кг корма в виде порошка и крупки живая масса бройлеров (в 1-й и 3-й группах) была выше и составила 1619–1620 г, а во 2-й и 4-й группах с использованием 15 г шунгита в 1 кг кормосмеси – 1567 и 1574 г (табл. 2).

В результате исследования установлена оптимальная доза шунгита в количестве 1 % к массе корма. Фракция размола минерала не оказала существенного влияния на прирост птицы.

При оценке мясных качеств птицы не установлено различий по убойному выходу, он составил в среднем по опытным группам 77,25 % (lim 75, 76–78,7) и 77,19 % – в контрольной группе.

Установлены достоверные различия с контрольной группой по массе потрошеных тушек 1–3-й опытных групп (P<0,01–0,005) и полупотрошеных тушек 1-й и 3-й опытных групп, получавших в составе кормосмеси 1 % шунгита. Масса мышечного желудка опытных групп была выше, чем в контрольной (P<0,05–0,01), на 13–17 %. Отложение абдоминального жира в опытных группах было ниже, чем в контрольной, на 5–7 %.

Таблица 2

Эффективность применения добавки шунгита в рационах бройлеров

Показатели	Контрольная группа	Опытная группа			
		1	2	3	4
		доза и фракция шунгита, г на 1 кг корма			
		в виде порошка		в виде крупки	
		10	15	10	15
Возраст постановки на опыт, дн.	14	14	14	14	14
Живая масса при постановке на опыт, г	255,9	253,7	248,9	252,5	252,0
Продолжительность опытного периода, дн.	29	29	29	29	29
Возраст убоя, дн.	43	43	43	43	43
Живая масса при убое, г	1511,3	1619,4	1567,1	1620,7	1574,2
Прирост за период опыта, г	1255,4	1365,7	1318,3	1368,2	1322,2
Среднесуточный прирост, г	43,6	47,1	45,5	47,1	45,6
Прирост за период откорма, г	1471,3	1579,4	1527,1	1580,7	1534,2
Затраты корма за период опыта, кг	2,87	2,72	2,79	2,88	2,81
Затраты корма за период откорма (43 дня), кг	3,41	3,26	3,23	3,42	3,35
Затраты корма на 1 кг прироста:					
за период опыта, кг	2,28	1,98	2,12	2,10	2,13
за период откорма, кг	2,31	2,06	2,17	2,16	2,18
Экономия расхода кормов на 1 кг прироста:					
относительно контрольной группы, кг	–	0,250	0,140	0,150	0,130
руб.	–	1,75	0,95	1,05	0,91
Коэффициент конверсии корма	0,449	0,505	0,470	0,476	0,469

Установлена тенденция к увеличению абсолютной массы несъедобных субпродуктов (голова, кишечник, плюсны) в опытных группах. При убое птицы она составляла относительно живой массы в опытных группах 12,1 %, в контрольной – 11,2 %. Общая эффективность шунгита в рационах цыплят-бройлеров определялась по потреблению и конверсии корма.

Результаты исследования показали, что при введении в рацион бройлеров в откормочный и финишный периоды минерала шунгита в виде порошка в количестве 10 и 15 г на 1 кг кормосмеси снизилось потребление корма за 29 дней учета на 150 и 80 г в сравнении с контрольной группой.

Потребление корма с таким же количеством шунгита в виде крошки птицей двух других опытных групп практически не отличалось от контрольной.

За период откорма при продолжительности выращивания 43 дня расход корма составил соответственно 3,26, 3,23, 3,42 и 3,35 кг, это было ниже относительно контрольной группы на 4,4 и 5,1 % в первых двух опытных группах и на 1,6 % в 4-й группе. Затраты корма на 1 кг прироста были минимальными в 1-й опытной группе, получавшей 1 % шунгита в виде порошка, и составили 2,06 кг корма. В трех других опытных группах они почти не отличались (2,17–2,16 кг) и были ниже, чем в контрольной, соответственно на 10,9 и 6,1–5,6 %. Экономия кормов в опытных группах на 1 кг прироста относительно контрольной группы составила 250–130 г, или 1,75–0,91 рубля.

ВЫВОДЫ

Были исследованы возможность и эффективность использования шунгита в рационах птицы мясного и яичного направления.

Установлено, что добавки в рацион цыплят-бройлеров шунгита в количестве 10 и 15 г

на 1 кг основного корма оказали положительное влияние на выживаемость птицы в условиях «кормового» и «технологического» стресса. По сравнению с контрольной группой прирост живой массы бройлеров на рационах с добавкой шунгита за период опыта был выше на 8,8–9 % (1 % шунгита) и 5–5,3 % (1,5 % шунгита), а среднесдаточная живая масса была выше на 7,1–7,2 и 3,7–4,1 % соответственно.

Масса потрошеных и полупотрошеных тушек бройлеров опытных групп, получавших 1 % шунгита, была на 12–3,1 % выше, чем в контрольной группе. Затраты корма на 1 кг прироста в опытных группах были на 10,8 % ниже, чем в контрольной, и составили 2,06–2,18 кг. Установлена оптимальная добавка в рацион бройлеров и кур-несушек шунгита в количестве 1 % к массе корма (10 г на 1 кг основного корма) независимо от фракции помола.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дровосеков В. М., Шатилова Т. М., Иванов Г. Я. и др. Лечение шунгитом больных в санатории «Черная речка» // Опыт применения минерала шунгит в курортологии. СПб., 1998.
2. Филипов М. М., Ромашкин А. Е. Шунгитовые породы: генезис, классификация, методы определения Ссв. Петрозаводск, 1996. 92 с.
3. Шунгиты – новое углеродистое сырье / Под ред. В. А. Соколова, Ю. К. Калинина, Е. Д. Дюкова. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1984.

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ ПЕТРОЗАВОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Сентябрь, № 3 **Физика** **2008**

УДК 549.753.11

ЕКАТЕРИНА АЛЕКСЕЕВНА РЕПНИКОВА
кандидат технических наук, доцент кафедры физики твердого тела физико-технического факультета ПетрГУ
erepn@psu.karelia.ru

ЕКАТЕРИНА ВЛАДИМИРОВНА ЛЕПИХИНА
магистрант кафедры физики твердого тела физико-технического факультета ПетрГУ
erepn@psu.karelia.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ БИОГЕННЫХ АПАТИТОВ ЗУБНЫХ ТКАНЕЙ ЕВРОПЕЙСКОГО ЛОСЯ

Методами рентгеноструктурного анализа установлено, что основной минеральной составляющей зубной эмали Европейского лося является кальцийдефицитный карбонат гидроксилапатита. Обнаружена корреляция размеров и концентраций пор в зубной ткани и содержания тяжелых металлов в почве и исследуемых объектах.

Ключевые слова: апатит, гидроксилапатит, нестехиометрия, поры, кристаллическая структура, зубная ткань

Вопросы образования и преобразования минералов биогенного происхождения, тесно связанные с проблемой взаимодействия живых тканей с костной, являются дискуссионными. Многие детали при изучении этих объектов остаются невыясненными. Это объясняется относительной молодостью биоминералогии, а также трудностями получения образцов для исследования. С точки зрения структуры сложность изучения апатитов биогенного происхождения объясняется тем, что они имеют нестехиометрический состав и характеризуются присутствием многочисленных микропримесей, способы вхождения которых в кристаллическую решетку апатитов разнообразны. В данной работе определяется структура зубных тканей Европейского лося и осуществляется поиск корреляции параметров зубных апатитов и содержания тяжелых металлов в почве.

ВВЕДЕНИЕ

Карбонатсодержащие гидроксилапатит и фторапатит являются основными минеральными компонентами твердых тканей живых организмов. В гексагональной структуре апатита (P63/m) атомы Ca1 расположены на тройной оси. Они окружены шестью атомами кислорода (O1 и O2), находящимися на приблизительно одинаковом расстоянии (2.4 Å), которые образуют сдвоенные тригональные призмы. Существуют также и более длинные связи между атомом Ca1 и тремя атомами кислорода O3 (2.8Å). Таким образом, атомы Ca1 координированы девятью атомами кислорода, находящимися в шести различных тетраэдрах (рис.1).

Стехиометрическая формула апатита $Ca_{10}(PO_4)_6(OH, F, Cl)_2$ определена в 1930 году Нарай-Сабо (a=9.422 Å, c=6.882 Å). Методом рентгеноструктурного анализа установлено, что минеральная составляющая в эмали зуба представлена гидроксилапатитом, причем в эмали апатит хорошо окристаллизован и дает четкие рефлексы [2]. Период «a» апатита эмали увеличен относительно стехиометрического гидроксилапатита. С возрастом в апатите эмали увеличивается содержание фтора, вплоть до образования фторапатита. Уменьшение периода «a»

© Репникова Е. А., Лепихина Е. В., 2008

является следствием потери структурной воды [3], хотя нельзя исключить небольшой вклад в уменьшение этого параметра от потери ионов HPO_4 [8]. Увеличение периода «а» связывают с увеличением количества CO_3 в гидроксильных позициях, что установлено при изучении ИК-спектров зубных тканей [6]. Основными минеральными компонентами костных тканей современных и ископаемых организмов являются кристаллические нестехиометрические по составу карбонатапатиты [7], [2], [5]. Известно, что карбонатный ион $[CO_3]_2$- может замещать в структуре апатита либо расположенные в каналах структуры $(OH)^-$- и F^--ионы, либо $[PO_4]^{3-}$-тетраэдры. Замещение карбонат-ионами ортофосфорных групп PO_4 сопровождается существенным уменьшением параметра «а» элементарной ячейки апатита и некоторым увеличением параметра «с». Обратная зависимость наблюдается при вхождении CO_3-иона в каналы структуры [5]. Компенсация зарядов при образовании бескарбонатных Ca-дефицитных апатитов $Ca_{10-x}[PO_4]_{6-x}\{PO_3OH]_x(OH)_{2-x}(H_2O)_x$ ($O<x\leq 2$) осуществляется по схеме:

$Ca^{2+}+[PO_4]^{3-}+OH^- \leftarrow \square_{Ca}+[PO_3OH]^{2-}+(H_2O, \leftarrow \square_{OH})$, где $\square$ – вакансии в соответствующих позициях [5]. В карбонатсодержащих гидроксилапатитах имеет место вхождение карбонат-иона в структуру апатита по схеме:

$Ca^{2+}+[PO_4]^{3-}+OH- \leftarrow \square_{Ca}+[CO_3]^{2-}+\square_O+\square_{OH}$ [1]. Часть вакансий при этом может заполняться ионами Ca и OH, что приводит к формуле: $Ca_{10-x}[PO_4]_{6-x}(OH)_{2-x}(CO_3)_x$.

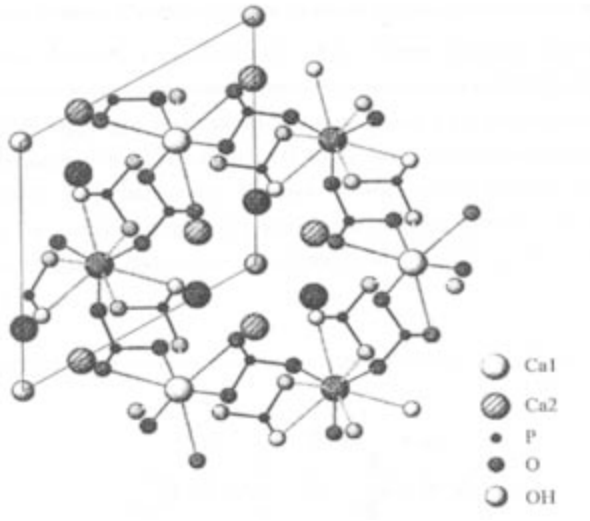


Рис. 1. Проекция структуры апатита на плоскость (0001)

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Фазовый состав зубной эмали определяли методом порошковой рентгенографии на установках ДРОН-2.0 и ДРОН-4.0 в $Co_{k\alpha}$- и $Cu_{k\alpha}$-излучениях в интервале углов 2υ от 3 до 140^0. Периоды кристаллической ячейки апатита зубных тканей рассчитывались по 10–20 рефлексам. В качестве внутреннего стандарта использовались германий и медь.

ИК-спектры были получены на двухлучевом спектрофотометре Specord 75-IR в области частот 400–1800 $см^{-1}$.

Методом рентгеноспектрального микроанализа, проведенного на сканирующем микроскопе с полупроводниковым спектрометром Camscan-4, определялось содержание тяжелых металлов в биогенных апатитах исследуемых зубных тканей Европейского лося.

К изучению дефектности исследуемых образцов был применен метод малоуглового рассеяния рентгеновских лучей. Малоугловое рассеяние проводилось в медном фильтрованном излучении в камере КРМ-1 в интервале углов 2υ от 8 до 120 минут. В качестве стандарта был выбран образец стеклоуглерода. В экспериментальные кривые распределения интенсивности рассеяния были введены поправки на рассеяние воздухом, а также выполнен пересчет интенсивности на оптимальную толщину.

ОБРАЗЦЫ

В качестве изучаемых объектов, отражающих влияние экологической ситуации в Финляндии, мы выбрали образцы резцов из верхней челюсти особей обоего пола Европейского лося *Alces a.alces*. Зубы были удалены у животных, умерших естественной смертью и обитавших на территории Финляндии в областях Lappi, Ruotsinkielinen Pohjanmaa, Pohjanmaa, Keski-Suomi, Kymi, Etela-Savo, Satakunta, отличавшихся содержанием тяжелых металлов в почве (табл. 1).

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в почве областей Финляндии

Области	Pb мас. %	Cr мас. %	V мас. %	Zn мас. %	Ni мас. %	Fe %	Ti %	P мас. %	Mn мас.%	Al %
KY	0.001	0.004	0.065	0.007	0.0017	2.5	0.35	0.085	0.045	7.8
LA	<0.0005	0.02	0.02	0.013	0.0085	6.5	0.6	0.11	0.088	9.4
SK	$7.4*10^{-4}$	0.01	0.008	0.009	0.0030	5.1	0.43	0.11	0.056	7.8
KS	<0.0005	0.004	0.008	0.007	0.0017	3.5	0.43	0.095	0.056	7.8
ES	<0.0005	0.004	0.007	0.005	0.0030	2.5	0.35	0.095	0.045	6.9
RP	0.0007	0.0045	0.009	0.009	0.0030	4.0	0.43	0.085	0.056	6.9
PO	0.00074	0.004	0.008	0.009	0.0030	5.1	0.43	0.085	0.056	7.8

Области отличались не только географическим положением (рис. 2), но и различным содержанием тяжелых металлов в почве, связанным с расположением промышленных объектов. Различными методиками было рассмотрено 59 образцов. Все образцы были подвержены органическому налету (зубной камень).

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рентгеноструктурному анализу было подвергнуто 14 образцов из трех областей: KS3526, KS3519, KS3348, LA881, LA902, LA1183, LA902, LA911, LA1132, Lav101, RP4324, RP4314, RP 4315, RP4307. В этих областях содержание свинца в почве менее 0.0005, 0.0005 и 0.0007 мас. % соответственно. Существенного отличия в данных величинах нет, поэтому мы предполагали, что фазовый анализ не будет иметь принципиального отличия.

Первоначальной задачей в рентгенографическом исследовании было определение типа структуры и его качественного состава. По обзорным рентгенограммам (рис. 3) было установлено, что структура зубов представлена аморфно-кристаллической фазой.

Рис. 2. Карта областей Финляндии

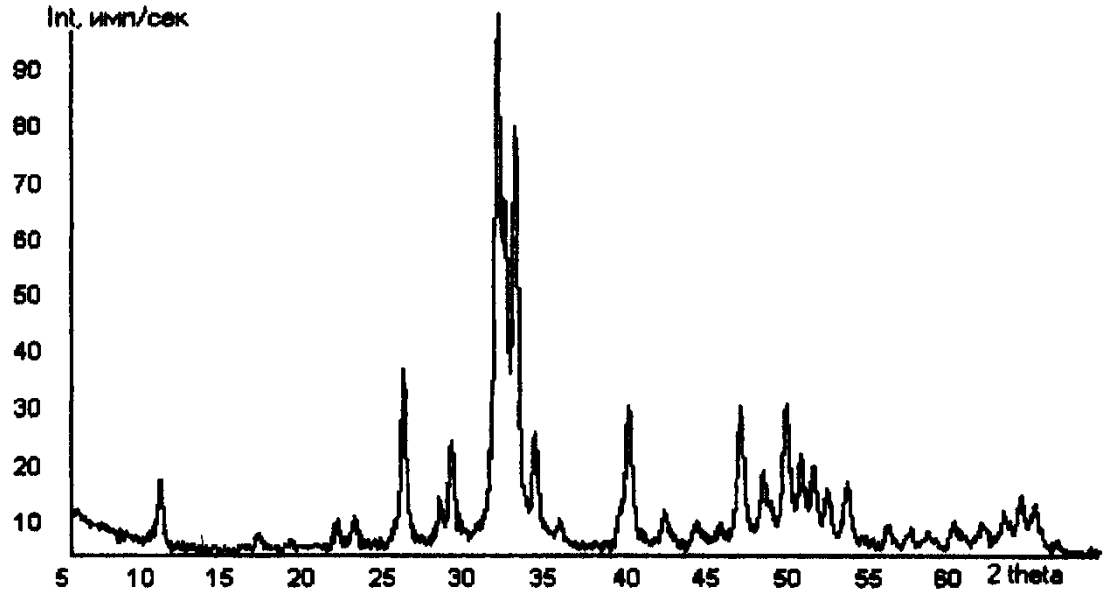


Рис. 3. Обзорная рентгенограмма зубной эмали

В дальнейшем проводился анализ кристаллической фазы. Определение фазового состава зубных тканей показало, что основной фазой в них является гидроксилапатит $Ca_{10}(PO_4)_6OH_2$. В качестве примесных фаз в образцах KS3348, KS3519, LA902, LA911 присутствует витлокит (2theta=36^0, I=14 имп/с, 2theta=40.3^0, I=8 имп/с), а в образцах KS3348, LA881, RP4324, RP4314, RP 4315, RP4307 – кальцит (2theta=34.3^0, I=15 имп/с), что можно объяснить непосредственной связью зубной ткани с органическими веществами (рис. 4).

Минеральных фаз тяжелых металлов не было обнаружено, что предполагает изоморфное вхождение этих элементов в апатит зубной ткани.

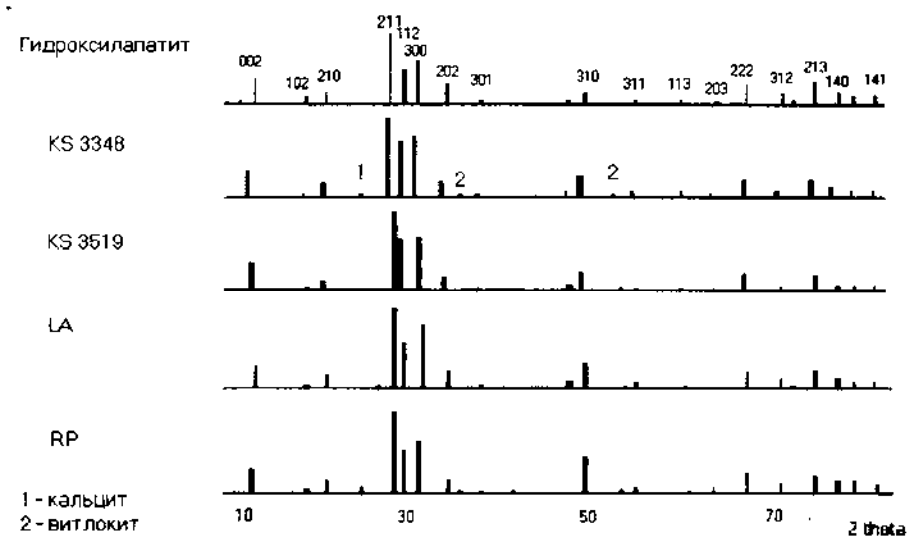


Рис. 4. Теоретические и экспериментальные штрихдиаграммы некоторых образцов

При сравнении теоретически рассчитанных штрихдиаграмм для данного соединения с дифрактограммами, полученными от исследуемых образцов, выявились смещения некоторых отражений, а также увеличение или уменьшение интенсивности некоторых пиков. Эти несовпадения могут быть объяснены дефектностью кристаллической решетки кальциевых солей, которая возникает за счет внедрения в решетку карбонат-иона. Поэтому были рассчитаны теоретические дифрактограммы для соединений гидроксилапатита со схемой компенсации дисбаланса заряда при вхождении CO_3-.

$$Ca^{2+}+PO_4^{3-}+OH^- \Leftarrow \square_{Ca},H_2O+CO_3^{2-}+\square_{OH},H_2O, \text{ или}$$
$$Ca_{10-x}[PO_4]_{6-x}[CO_3]_xOH_{2-x},$$

где x=2, 4, 6, $\square_{Ca}$ – пустота в позиции иона кальция, $\square_{OH}$ – пустота в позиции OH-группы.

Схема расчета выбрана на основании данных, полученных из литературы [4]. Расчеты показали, что наиболее приближенная структура для образца LA1132, как и для образца RP4314, наблюдается при коэффициенте x=2. Это соответствует гидроксилапатиту с химической формулой $Ca_8(PO_4)_4(CO_3)_2$, где коэффициент заполнения для LA1132:

Ca1=0.8	C=2/3
Ca2=2/3	O=0.769
P=1/3	

для образца RP4314:

Ca1=0.8	C=1/3
Ca2=0.766	O=0.769
P=2/3	

Наблюдается дефицит группы PO_4 и полное замещении OH-группы карбонат-ионом. Полученные результаты занесены в табл. 2.

Таблица 2

Фазовый состав и параметры элементарной ячейки исследованных образцов

Образцы	Фазовый состав	П.Э.Я.		F мас.%	CO_2 мас.%
		a (Å)	c (Å)		
KS3526	Ap*, Cal**, Vitl***	9.448(1)	6.882(2)		
LA881	Ap, Cal	9.442(1)	6.878(1)		
LA902	Ap	9.444(3)	6.881(1)	4.8	<0.4
LA1183	Ap, Cal	9.452(2)	6.885(1)		
LA901	Ap, Cal, Vitl	9.444(1)	6.878(1)		
LA911	Ap, Cal, Vitl	9.447(5)	6.899(3)		
LA1132	Ap	9.473(1)	6.904(1)	7	
LAV101	Ap, Cal	9.458(3)	6.883(5)		
RP4324	Ap, Cal	9.444(2)	6.880(2)		
RP4314	Ap, Cal	9.448(3)	6.884(1)		<0.4
RP4315	Ap, Cal	9.445(4)	6.857(7)		
RP4307	Ap, Cal	9.446(5)	6.882(3)		
KS3348	Ap, Cal, Vitl	9.435(6)	6.883(4)		
KS3519	Ap, Vitl	9.441(0)	6.882(1)		

* Ap – гидроксилапатит, ** Cal – кальцит, *** Vitl – витлокит.

Для определения периодов кристаллической решетки гидроксилапатита использовали метод внутреннего стандарта. В качестве эталона был выбран германий с высокой степенью чистоты (99.99 %). Достаточность введения эталона в образец определялась по самому интенсивному пику (для кобальтового излучения 2 υ=31.788^0). Съемка проводилась в интервале углов 15–65^0. Данная область не является прецизионной, но в данном эксперименте эта мера была вынужденной, так как с

увеличением угла уменьшалась контрастность, что затрудняло их точное определение.

Параметры элементарной ячейки определялись методом наименьших квадратов и уточнялись методом экстраполяции. В качестве экстраполирующей функции была взята функция Нельсона – Ралли:

$$F = \frac{1}{2} \cdot \frac{cos^2\theta}{\sin\theta} + \frac{\cos^2\theta}{\theta}. \quad (1)$$

Так как у гидроксилапатита решетка гексагональная, то формула для нахождения межплоскостного расстояния имеет вид:

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{\frac{3}{4} \cdot (h^2 + k^2 + l^2) + l^2 \cdot \frac{a^2}{c^2}}}. \quad (2)$$

Таким образом, для нахождения параметра «а» выбирались пики с отражениями от плоскостей (hk0).

Экстраполированное значение в конечном итоге и есть уточненное значение параметра «а»=9.473(1) Å (рис. 5). Параметр «с» находился подстановкой найденного параметра «а» в формулу (2) для пиков с отражениями от плоскостей (hkl), где l≠0. Тогда «с»=6.904(1) Å. В данном случае показан расчет параметра для образца LA1132. Полученные результаты расчетов параметров ячейки, качественного анализа, а также химического анализа объединены в табл. 2.

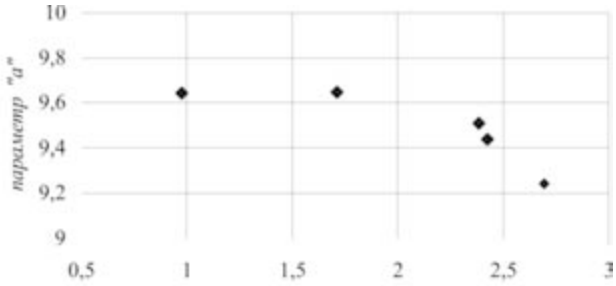


Рис. 5. График зависимости параметра «а» (Å) элементарной ячейки гидроксилапатита и функции Нельсона – Ралли для образца LA1132

Параметры элементарной ячейки апатитов всех исследованных образцов близки и составляют для области LA: *a*=9.442(1)–9.458(3) Å и *c*= 6.878(1)–6.899(3) Å, таким образом, разброс для параметра «а» составляет 0,016 Å, для «с» – 0,021 Å. Эмаль зубной ткани для образцов из области RP имеет параметры: *a*=9.444–9.456 Å и *c*=6.875–6.892 Å, соответственно, разброс для «а» составляет 0.012 Å, для параметра «с» – 0.017 Å. Для области KS a=9.448(1) Å, c=6.882(2) Å. Однако следует отметить, что параметры элементарной ячейки в образце LA1132 превышают средние значения параметров образцов из двух областей a=9.473(1) Å, c=6.904(1) Å. Это можно объяснить завышенным содержанием карбонат-иона (табл. 2) и характерным отсутствием примесей кальцита и витлокита. Нужно отметить, что биогенные гидроксилапатиты обычно содержат 3–5 мас. % CO_2 и относятся преимущественно к B- и редко к смешанному (A+B)-типам [6]. Химический анализ на содержание карбонат-иона был сделан для выборочных образцов. Критерием для отбора служило отсутствие на рентгенограммах пиков кальцита.

Как видно из табл. 2, таким требованиям отвечают образцы LA902 и LA1132. Характерно, что отсутствие примесных фаз пришлось на область LA. В табл. 1 приведены значения содержания тяжелых металлов в почве перечисленных областей. Область LA входит в число областей, в почве которых содержание свинца менее 0,0005 мас. %. Данную область можно условно назвать «чистой» областью. Таким образом, можно предположить, что присутствие фаз кальцита и витлокита связано также с загрязнением окружающей среды. Полученные значения фтора оказались за пределами нижней границы обнаружения элемента, что связано с минимальным содержанием фтора в структуре эмали.

Итак, принимая во внимание химический анализ образцов LA902 и RP4314, данные параметров решетки и фазовый состав, можно предположить, что при увеличении количества карбонат-иона в зубной эмали (7 мас. %) уменьшается содержание фазы кальцита и увеличивается параметр «с». Однако данное предположение нужно уточнить дальнейшими исследованиями. Значения параметра «а» эмали исследованных зубов превышает соответствующие величины для стехиометрического гидроксилапатита (*a*=9.422 Å, *c*=6.882 Å), что согласуется с данными об апатитах зубов современных животных и человека, отмеченными в литературе [6], и свидетельствует о расположении карбонат-иона в каналах гидроксилапатита, замещающего OH-группу. Дефицит кальция в структуре гидроксилапатита также может быть причиной увеличения параметра «а».

Таблица 3

Результаты расчета штрихдиаграмм

Образцы	Коэффициенты заполнения				
	Ca1	Ca2	C	P	O
RP4314	0.8	2/3	2/3	1/3	0.769
LA1132	0.8	0.766	1/3	2/3	0.769
RP4315	0.5	1	2/3	1/3	0.769
RP4307	0.8	0.766	1/3	2/3	0.846
LA881	0.8	0.766	1	0	0.692

Для более наглядного сравнения параметров элементарной ячейки зубной эмали Европейского лося с параметрами других млекопитающих значения «а» и «с» помещали на диаграмму (рис. 6). На диаграмме хорошо видно, что параметры элементарной ячейки Европейского лося находятся большей частью справа от эталонного гидроксилапатита, преимущественно в правом нижнем секторе. Аналогичное расположение имеют параметры элементарной ячейки эмали зубов человека и благородных оленей, которые характеризуются дефицитом кальция в структуре эмали. Такое расположение параметров решетки также свидетельствует о минимальном содержании в структуре зубной эмали атомов фтора (менее 0.01 мас. %) [3]. Поэтому можно считать, что апатит зубной эмали по минеральному составу и параметрам элементарной ячейки сходен с эмалью интактных зубов человека (a=9.440 Å, c=6.884 Å), где основной минеральной составляющей также является кальций-дефицитный карбонатапатит, в котором возникающий при изоморфном замещении $[PO_4]^{3-} \leftarrow [CO_3]^{2-}$-избыток положительного заряда компенсируется за счет возникновения вакансий в позициях Ca^{2+}- и OH^--групп, аналогично гидроксилапатитам смешанного типа, в которых карбонат-ион замещает не только PO_4^--, но и OH^--группы: $Ca^{2+}+PO_4^{3-}+OH^- \Leftarrow \square_{Ca},H_2O+CO_3^{2-}+\square_{OH},H_2O$ или $Ca_{10-x}[PO_4]_{6-x}[CO_3]_xOH_{2-x}$, где x=2, 4, 6, $\square_{Ca}$ – пустота в позиции иона кальция, $\square_{OH}$ – пустота в позиции OH-группы.

Выводы о принадлежности апатитов зубной эмали к карбонатсодержащим гидроксилапатитам B-типа и A+B-типа подтверждаются и данными ИКС (рис. 7).

ИК-спектроскопические исследования показали отсутствие на спектрах всех образцов полосы 640 $см^{-1}$ либрационных колебаний OH^-, что подтверждает дефицит OH^--групп в структуре апатита зубов. По присутствию дублета 1460, 1415 $см^{-1}$ установлено, что в апатите эмали зубов карбонат-ион замещает группы PO_4 (B-тип апатита). В спектрах одного из образцов присутствует полоса 1555 $см^{-1}$, что свидетельствует о замещении карбонат-ионом не только PO_4^--, но и OH^--групп. Таким образом, экспериментальные образцы являются апатитами смешанного A+B-типа. Кроме того, присутствуют полосы длиной 1650 $см^{-1}$ и 1730 $см^{-1}$, что свидетельствует о наличии молекулярной воды в структуре. Рефлексы (440) и (425) $см^{-1}$ свидетельствуют о колебании атомов фтора и кальция, но результаты химического анализа указывают на минимальное содержание фтора в структуре эмали зубов, поэтому данный рефлекс можно объяснить высокой чувствительностью метода.

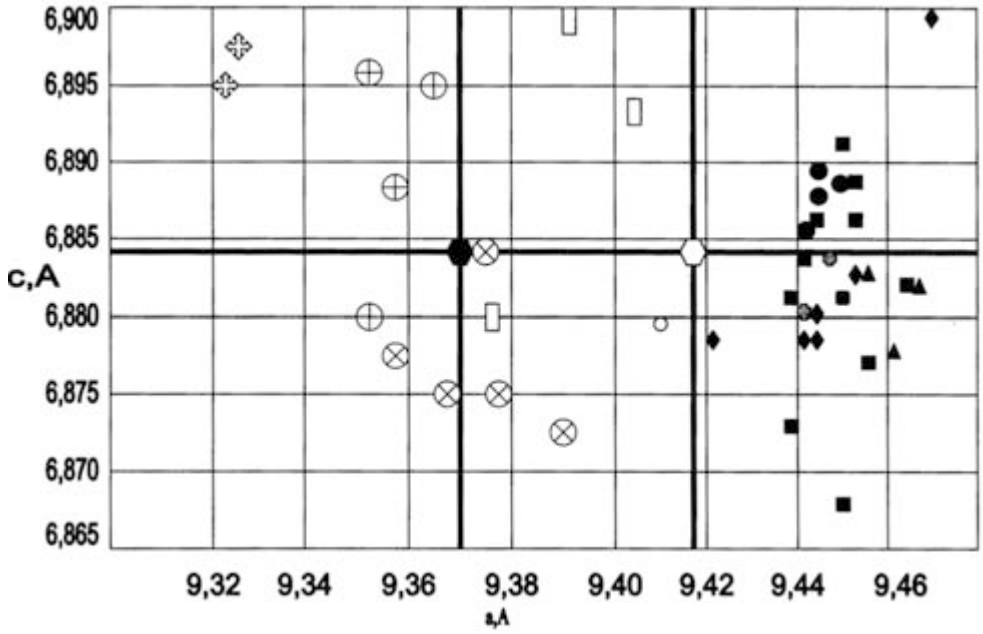


Рис. 6. Параметры элементарных ячеек биогенных гидроксилапатитов и эталонных гидроксил- и фторапатита

Примечание: ⬡ – эталонный гидроксилапатит, ⬢ — эталонный фторапатит; ✥ — фосфориты; ⊕ — дентрит панцирных девонских рыб; ⊗ — дентрит ископаемых динозавров; ○ — кость коровы; △ — эмаль зубов ископаемых пещерных медведей; ▯ — кость человека; ■ — эмаль зубов человека; ● — эмаль зубов благородных оленей; ♦ — эмаль зубов Европейского лося, обитавшего на территории Lappi, Финляндия (экспериментальные образцы); ✥ — эмаль зубов Европейского лося, обитавшего на территории Ruotsinkielinen Pohjanmaa, Финляндия (экспериментальные образцы); ■ — эмаль зубов Европейского лося, обитавшего на территории Keski-Suomi, Финляндия (экспериментальные образцы).

Следовательно, данные ИК-спектроскопии не только подтверждают, но и уточняют предположения, сделанные на основании рентгеновских исследований.

Для дальнейшего нахождения более точной структуры зубной ткани, а также определения тонкой зависимости содержания тяжелых металлов в структуре зубов и в почве был выполнен химический анализ. Химический анализ производили у 13 образцов (табл. 4). Образцы отбирались из областей KY и LA. В выбранных областях содержание свинца в почве составляет соответственно 0.001 и 0.0005 мас. %, что различается на порядок, поэтому можно условно назвать эти области «чистой» и «загрязненной». После размельчения каждая проба делилась на две части. Из полученных проб было сделано по 2 параллельных анализа. Данные для каждого образца (в г/т) были пересчитаны в мас. %. Анализируя полученные данные, можно отметить, что основные различия в химическом составе зубной ткани для разных образцов из области LA составляют для марганца – 0.001–0.05 мас. %, для цинка – 0.05–0.3 мас. %, из области KY для титана – 0,02–0.1 мас. %.

Анализируя соотношения концентраций тяжелых металлов в исследованных образцах зубной ткани (табл. 4) и почве (табл. 1), можно прийти к выводу (рис. 7), что оседание в зубной эмали таких элементов, как хром и ванадий, в значительной степени меньше, чем цинка, никеля и свинца.

На диаграмме (рис. 8) можно также наблюдать характерный для всех линий изгиб в области образцов, взятых с территории LA. Это свидетельствует о том, что тяжелых металлов в данной области значительно меньше, и подтверждает наименьшую загрязненность области Lappi (LA).

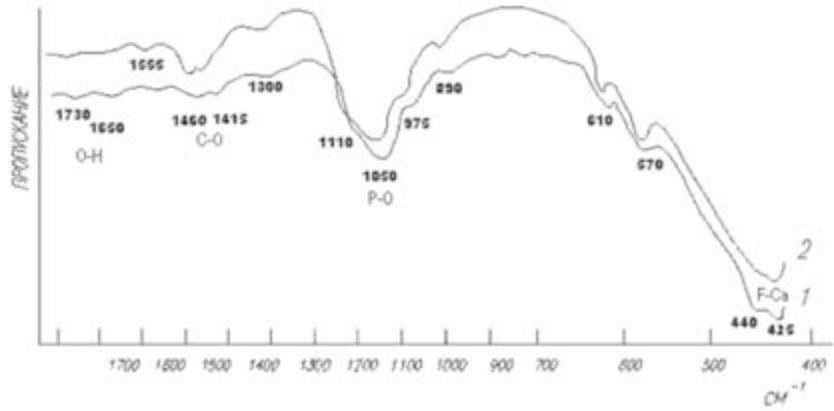


Рис. 7. ИК-спектр зубной эмали Европейского лося для образцов 1 – серия LA, 2 – серия KS

Таблица 4

Химический состав исследованных образцов (мас. %)

Образцы	Fe	Mn	V	Cu	Sn	Zr	Ag	Zn	Ti	Ni	Cr	Mo	Pb
KY2148	0.04	0.001	0.001	0.003	0.03	0.005	0.001	0.005	0.04	0.006	0.004	–	0.007
LA853	0.01	0.05	–	0.001	–	0.003	0.001	0.007	0.001	0.004	0.0005	–	–
LA4543	0.02	0.01	–	0.002	–	0.005	0.001	0.02	0.03	0.004	0.0005	0.002	0.003
LA4520	0.03	0.001	–	0.02	0.03	0.005	0.003	0.05	0.02	0.01	0.001	–	0.004
KY2154	0.03	0.001	0.001	0.04	0.005	0.007	–	0.3	0.07	0.01	0.001	–	0.005
KY2136	0.03	0.001	0.001	0.005	0.002	0.01	0.001	0.01	0.06	0.003	0.002	–	0.002
KY2145	0.4	0.002	0.001	0.004	–	0.008	–	0.02	0.07	0.005	0.001	0.002	0.002
KY2150	0.07	0.002	0.002	0.004	0.002	0.01	0.001	0.010	0.010	0.01	0.002	–	0.003
KY2157	0.03	0.001	0.005	0.002	0.003	0.007	0.001	0.02	0.07	0.004	0.002	0.007	0.007
KY2170	0.03	0.001	0.001	0.003	–	0.006	0.001	0.01	0.05	0.003	0.002	–	–
KY2151	0.01	–	0.001	0.005	0.003	0.005	0.003	0.02	0.02	0.004	0.0005	0.002	0.004
KY2152`	0.04	0.001	0.001	0.003	0.002	0.008	0.003	0.02	0.08	0.002	0.001	0.002	0.003
KY2142	0.05	0.001	0.001	0.005	0.003	0.008	0.002	0.005	0.08	0.003	0.001	–	0.003
Нижний предел обнаружения	0.001	0.001	0.0007	10^{-4}	0.001	0.003	0.0007	0.005	0.001	0.0005	0.0005	0.001	0.002
RSD* (%)	0.002	0.0015	0.001	0.002	0.0015	0.001	0.0015	0.002	0.0015	0.0025	0.0025	0.0025	0.0015

* RSD – среднее квадратическое отклонение.

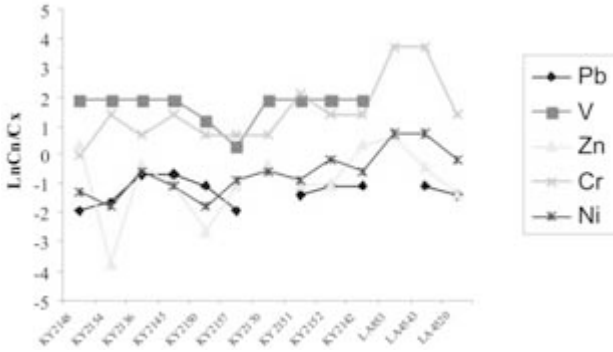


Рис. 8. Сравнительная диаграмма содержаний тяжелых металлов в почве областей Финляндии и в зубном апатите Европейского лося

Cn – содержание элемента в почве (г/т),
Cx – его содержание в зубной эмали

Для более глубокого изучения структуры зубной ткани проводилась съемка образцов на малых углах. В результате исследования методом рентгеноструктурного анализа в области малых углов были получены зависимости углового распределения интенсивности рассеяния. Они имели вид монотонно спадающих кривых, поэтому можно сделать вывод, что упаковка рассеивающих центров рыхлая (рис. 9). Для учета статистической ошибки образцы рентгенографировались не менее трех раз. Ошибка в определении интенсивности изменяется от 3.7 до 4 % в зависимости от угла рентгенографирования (в минутах). Так же сравнивались зависимости I(ε) для образцов, взятых из одной области (рис. 10–11).

Разброс в значениях интенсивности рассеянного излучения при ε=8 мин в различных областях составляет: Ks – 6.3 %; Es – 4.4 %; Po – 7.3 %; Sk – 14.8 %; La – 5.4 %; Ky – 6.8 %. Полученные результаты свидетельствуют о том, что образцы из серий Es, Ks, La рассеивают более однородно, чем образцы из серий Po, Sk, Ky, так как разброс укладывается в ошибку эксперимента.

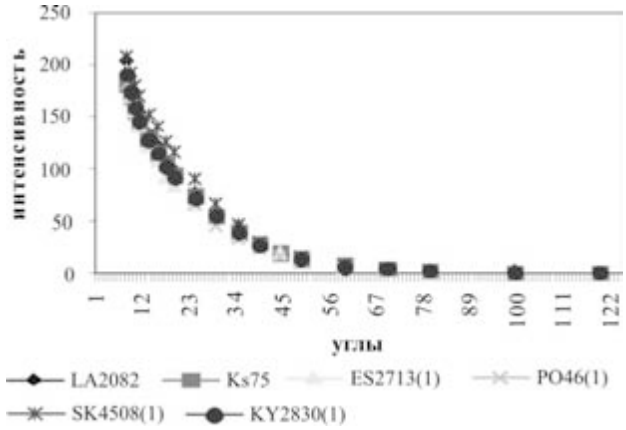


Рис. 9. Зависимости интенсивности рентгеновских лучей от угла рентгенографирования образцов, взятых из разных областей

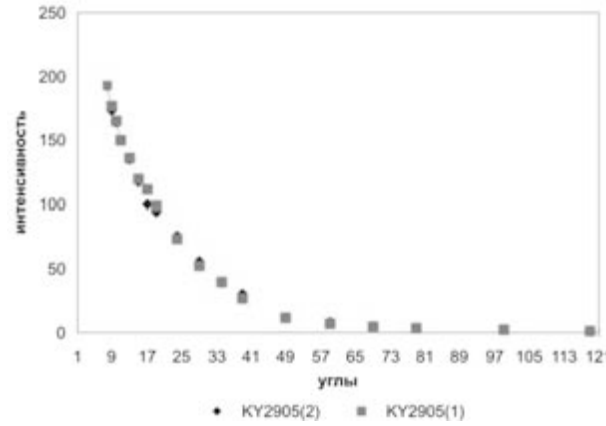


Рис. 10. Зависимость интенсивности рассеяния (имп/с) от угла рентгенографирования (мин.)

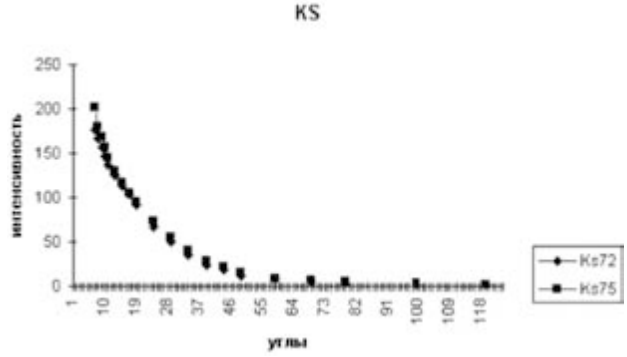


Рис. 11. График зависимости интенсивности от угла рентгенографирования (мин.) для образцов, взятых из одной области

Таблица 5

Разброс в значениях интенсивности рассеянного излучения

KS	ES	PO	SK	LA	KY	RP
6.3 %	4.4 %	7.3 %	14.8 %	5.4 %	6.8 %	9.0 %

В результате эксперимента были рассчитаны радиусы инерции пор по формулам (3–5).

$$\mathrm{tg}\, a = -\frac{4\pi^2}{3\lambda^2} R_0^2, \qquad (3)$$

где R_0 – радиус Гинье, λ – длина волны используемого излучения,

$$R_0 = \frac{\lambda}{2\pi}\sqrt{(-3tg\alpha)}\ , \qquad (4)$$

тангенс угла наклона определялся из экспериментальных данных:

$$\operatorname{tg} a = \frac{lnI(\varepsilon_2^2) - lnI(\varepsilon_1^2)}{\varepsilon_2^2 - \varepsilon_1^2}, \quad (5)$$

$$Ni = \frac{I(0)\ \text{эл.ед.}}{n^2 V_{\text{мол.}} V_{\text{обл.}}}, \quad (6)$$

где Ni – концентрация пор i-размерной фракции, I_0 – интенсивность малоуглового рассеяния в «нуле» первичного пучка, $V_{мол.}$ – молекулярный объем исследуемого вещества, $V_{обл.}$ – облучаемый объем образца, n^2 – рассеивающая способность объекта.

Было определено среднее относительное количество частиц каждого размера (формула (6)). Данные радиусов инерции пор и отношений концентрации пор занесены в табл. 6.

Установлено, что больший вклад в интенсивность вносят поры второй размерной фракции, но из рассчитанных отношений концентраций первой и второй фракций пор следует, что концентрация пор первой фракции значительно превышает количество пор с размерностью второй фракции.

Из сопоставления данных загрязненности областей (табл. 1) и данных, полученных методом малоуглового рассеяния, следует, что концентрация мелких пор значительно преобладает в образцах, взятых из областей SK, RP, KY, PO. Эти области характеризуются большим содержанием тяжелых металлов в почве. Также можно видеть, что минимальные радиусы инерции пор имеют место у образцов, взятых из областей LA (53±1) Å и KY (41±5) Å. Эти области, в свою очередь, характеризуются большим содержанием Cr и V, равным 0.02 мас. %, и минимальным количеством свинца – менее 0.0005 мас. %, области LA и KY – содержанием Pb=0.001 мас. % (самое большое значение). Следует отметить, что в области KY имеется значительный разброс радиусов инерции пор. Это можно объяснить тем, что здесь очаг загрязнения свинцом не распространен по всей территории, а расположен локально. У всех остальных областей разброс укладывается в ошибку эксперимента. Рассмотрим образцы, взятые из областей PO и KS. Радиусы инерции пор этих образцов близки по значениям (изменяются в пределах от 57 до 61 Å). Данные области содержат приблизительно равные количества тяжелых металлов Pb, V, Cr (см. табл. 1, 7), по сравнению с остальными образцами, значения радиусов инерции пор средние. Области находятся в южной Финляндии и приходятся на загрязненную часть этой территории. Сравнительные результаты занесены в табл. 7.

Анализируя данные табл. 7, можно проследить корреляцию значений размеров и количества пор в зависимости от содержания тяжелых металлов в почве. Так, для областей KS и ES с минимальным содержанием тяжелых металлов в почве (Pb=менее 0.0005 мас. %, V=0.004 мас. %) количество мелких пор первой фракции наименьшее. В области LA содержание мелких пор значительно больше, хотя изначально ее определили в среднем как «условно чистую» область по минимальному содержанию свинца. Однако в области LA замечено повышенное содержание V и Cr до 0.02 мас. %. Кроме того, область LA имеет самую большую площадь по сравнению с остальными изученными областями, а значит, и вероятность того, что в некоторых «микрообластях» содержание свинца может отличаться от минимального среднего значения. В образцах из областей KY, PO размеры пор первой фракции на порядок больше, что объясняется высоким содержанием свинца на территориях этих областей.

Таким образом, с помощью использованных методов можно выявить зависимости изменения в структурном состоянии зубных тканей вследствие неблагоприятного влияния экологического фактора на живые организмы.

Многие детали при изучении этих сложных объектов до сих пор остаются невыясненными. В большей степени это связано с тем, что гидроксилапатиты биогенного происхождения имеют нестехиометрический состав и характеризуются присутствием многочисленных микропримесей, способы вхождения которых в кристаллическую решетку апатитов разнообразны.

Таблица 6

Результаты расчета значений радиусов инерции пор и отношений концентрации пор

Области	R_1 (Å)	R_2 (Å)	N_1/N_2
PO	16 ± 1	57 ± 2	170
LA	15 ± 1	53 ± 1	130
SR	14 ± 1	55 ± 1	150
KY	13 ± 1	41 ± 5	140
PK	16 ± 2	55 ± 5	130
ES	24 ± 5	56 ± 4	20
KS	29 ± 1	62 ± 1	10

Таблица 7

Значение радиусов инерции в зависимости от условия загрязнения территории

Области	R2 (Å)	N1/N2	Pb, мас. %	Cr, мас. %	V, мас. %
KY	41 ± 5	140	0.001	0.004	0.065
LA	53 ± 1	130	<0.0005	0.02	0.02
KS	62 ± 1	10	<0.0005	0.004	0.008
ES	56 ± 4	20	<0.0005	0.004	0.007
PO	57 ± 2	170	0.00074	0.004	0.008

ВЫВОДЫ

1. Основной минеральной составляющей всех исследованных образцов зубной эмали Европейского лося является гидроксилапатит. В качестве примесных фаз наблюдали карбонат-кальцит и витлокит, причем отсутствие этих фаз наблюдалось преимущественно у образцов, взятых с условно чистой области LA. Фаз тяжелых металлов обнаружено не было, что предполагает изоморфное вхождение этих элементов в апатит зубной ткани.
2. Установлено, что апатит зубной эмали Европейского лося по минеральному составу и параметрам элементарной ячейки сходен с эмалью интактных зубов человека, где также основной минеральной составляющей является кальцийдефицитный карбонатапатит.
3. Сделано предположение, что при увеличении количества карбонат-иона в зубной эмали уменьшается содержание фазы кальцита, что приводит к увеличению значения параметров «с». Превышение значения параметра «а» эмали исследованных зубов по сравнению с таковыми значениями для стехиометрического гидроксилапатита свидетельствует о расположении карбонат-иона в каналах гидроксилапатита при замещении О-группы. Дефицит кальция в структуре гидроксилапатита также может быть причиной увеличения значения параметра «а».
4. Зубная ткань имеет пористую структуру. Установлен факт корреляции размеров пор зубной ткани и отношения их концентраций, выражающийся в преобладании мелких пор в образцах, взятых с более загрязненных областей (PO, KY).

Авторы выражают благодарность Raimo Silvennoinen (University of Joensuu, Finland), Kaarlo Nygren (Game and Fisheries Research Institute, Finland) за предоставленные образцы, О. В. Франк-Каменецкой (СПбГУ) за обсуждение полученных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кольцов А. Б., Франк-Каменецкая О. В., Зорина М. Л., Каминская Т. Н., Вернигора Н. Ю. Сложный изоморфизм в синтетических карбонатапатитах // ЗВМО. 2000. № 2. С. 109–117.
2. Кораго А. А. Введение в биоминералогию. СПб.: Недра, 1992. 28 с.
3. Луцкая И. К. Изменение структуры твердых тканей зуба и содержание в них свободной воды в возрастном аспекте // Стоматология. Киев, 1988. Вып. 23. С. 7–10.
4. Панова Т. Г., Иванова Т. И., Франк-Каменецкая О. В., Буллах А. Г., Чуканов Н. В. Апатит в костном детрите панцирных девонских рыб северо-запада русской платформы // ЗВМО. 2001. № 4. С. 97–107.
5. Elliott J. C. Strukture and chemistry of the apatites and other calcium orthophosphates. Elsevier. Amsterdam, 1994. 389 p.
6. Holcomb D. W., Youhng R. A. Termal decomposition of human tooth enamel // Calcif. Tissue Int. 1980. V. 31. P. 189–201, 254–257.
7. Ivanova T. I., Frank-Kamenetskaya O. V., Kol'tsov A. V., Ugolkov V. L. Crystal Structure of calcium-deficient Carbonated Hydroxyapatite. Thermal Decomposition // J. of Solid State Chemistry. 2001. V. 160. P. 340–349.
8. Young R. A., Holcomb D. W. Variability of hydroxyapatitepreparetions // Calcif. Tissue Int. 1982. V. 34. Suppl. 2. P. 17–32.

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ ПЕТРОЗАВОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Сентябрь, № 3 **Технические науки** **2008**

УДК 624.042.8:534.1

АНАТОЛИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ КОЙБИН
кандидат технических наук, доцент кафедры механики строительного факультета ПетрГУ
kabs@karelia.ru

ПРОДОЛЬНЫЕ ВИБРАЦИИ В ДВУХСЛОЙНОМ СТЕРЖНЕ ПРИ НАЛИЧИИ МЕЖДУ СЛОЯМИ СУХОГО ТРЕНИЯ

В статье рассматривается задача о вынужденных продольных колебаниях в составном стержне под воздействием гармонических возмущений и взаимодействия между слоями сухим трением.

Ключевые слова: продольные вибрации, стержень, трение

Стержень состоит из двух однородных слоев, прижатых друг к другу равномерно распределенным постоянным давлением.

1. Исследуем распространение продольных вибраций в каждом из слоев составного стержня конечной длины при воздействии гармонических возмущений частоты ω. Для контактных поверхностей полагаем справедливым закон Кулона, а для материала стержня – закон Гука [4]. Поставленная задача решается с использованием приближенных методов гармонической линеаризации и разложений по малому параметру. Уравнения динамики слоев имеют вид:

$$\rho Q_j \ddot{u}_j - E Q_j u_j'' = (-1)^j q\, sign(\dot{u}_1 - \dot{u}_2). \quad j = 1,2 \qquad (1.1)$$

Здесь ρ – плотность материала, Q_1 и Q_2 – площади сечений слоев, $u_1(x,t)$ и $u_2(x,t)$ – смещения слоев стержня, q – сила трения, отнесенная к единице длины контакта стержня, E – модуль упругости. Штрихом и точкой обозначены частные производные по координате x и времени t. Полагаем, что относительные вибрации $\eta(x,t) = u_1(x,t) - u_2(x,t)$ распространяются на всю длину составного стержня. Условия, обеспечивающие это допущение, определим ниже. Рассматривая стационарные колебания, решение для относительных смещений будем искать в виде

$$\eta(x,t) = a(x) cos(\omega t + \varphi(x)) \cdot \qquad (1.2)$$

Предварительно, следуя методу гармонической линеаризации, нелинейную функцию в системе (1.1) заменим линейной

$$F(\dot{\eta}) = sign\, \dot{\eta}(x,t) = r\omega^{-1}\dot{\eta}(x,t) \cdot \qquad (1.3)$$

Здесь коэффициент линеаризации r вычислен по формуле [3] и имеет вид

$$r = \frac{1}{\pi a}\int_0^{2\pi} F(-a\omega \sin\varphi)\sin\varphi d\varphi = \frac{4}{\pi a}. \qquad (1.4)$$

Заменяя нелинейные функции в системе (1.1), получим

$$\ddot{u}_j - c^2 u_j'' = (-1)^j q_j \dot{\eta}/a\omega \quad q_j = 4q/\rho Q_j \pi, \qquad (1.5)$$

© Койбин А. В., 2008

$$\ddot{\eta}-c^2\eta''=-(q_1+q_2)\dot{\eta}/a\omega \qquad c^2=E/\rho, \quad (1.6)$$

Решение системы (1.5–1.6) будем искать в комплексной форме, что стало возможно после линеаризации задачи: физический смысл имеет вещественная часть решения. Для общности и удобства вычислений предварительно перейдем к безразмерным величинам. Введем обозначения

$$|Z|=R,\ \alpha=\omega/c,\ y=\alpha x,$$
$$K_j=q_j/\omega^2,\ K=(q_1+q_2)/\omega^2. \quad (1.7)$$

Решения системы (1.5–1.6) будем искать в виде

$$\eta=KZ\exp(i\omega t),\ u_2=K_2D\exp(i\omega t),$$
$$u_1=\eta+u_2,\ |KZ|=a. \quad (1.8)$$

После подстановки искомых решений в систему и принятых обозначений получим для комплексных амплитуд Z и D:

$$Z''+Z=iZ/|Z|,\quad D''+D=-iZ/|Z| \quad (1.9)$$

(Штрихом в уравнениях обозначены производные по координате y.)

Решение первого уравнения системы (1.9) для комплексной амплитуды Z относительных смещений будем строить методом вариации произвольных постоянных. За порождающее решение примем решение уравнения без правой части

$$Z=A_1\exp(i\xi_1)+A_2\exp(-i\xi_2),\ \xi_j=y+\varphi_j, \quad (1.10)$$

где $A_1, A_2, \varphi_1, \varphi_2$ – постоянные интегрирования. Полагая постоянные функциями координаты y и накладывая дополнительные условия на производные (1.11):

$$A_1'\exp(i\xi_1)+A_2'\exp(-i\xi_2)+$$
$$+A_1i\varphi_1'\exp(i\xi_1)-A_2i\varphi_2'\exp(-i\xi_2)=0. \quad (1.11)$$

Подставим искомое решение (1.10) в первое уравнение (1.9) и с учетом (1.11) получим систему уравнений для отыскания функций:

$$A_j'=(-1)^{j+1}\frac{1}{2}\frac{\partial R}{\partial A_j},\ \varphi_j'=(-1)^{j+1}\frac{1}{2A_j^2}\frac{\partial R}{\partial \xi_j}$$
$$R=(A_1^2+A_2^2+2A_1A_2\cos\xi)^{1/2},$$
$$\xi=\xi_1+\xi_2,\ R=|Z|. \quad (1.12)$$

Найти непосредственно решение системы (1.12) в замкнутом виде не удается. Для разрешения системы воспользуемся методом усреднения. В работах Миронова и Пальмова показано, что при слабом демпфировании в рассматриваемом случае можно считать колебания медленно меняющимися как по координате, так и по времени [2], [3]. Поэтому целесообразно в системе провести усреднение по быстрой переменной ξ, при этом предполагается медленное изменение переменных A_1, A_2, φ_1 и φ_2. Для проведения усреднения в системе (1.12) возьмем среднеквадратическое значение функции R.

$$\langle R\rangle=\left(\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}R^2d\xi\right)^{1/2}=\sqrt{A_1^2+A_2^2}. \quad (1.13)$$

После подстановки $\langle R\rangle$ в (1.12) усредненная система примет вид

$$A_j'=(-1)^{j+1}A_j/2\langle R\rangle,\ \varphi_1'=0,,\ \varphi_2'=0. \quad (1.14)$$

Данная система имеет интегралы

$$\varphi_1=c_3,\ \varphi_2=c_4,\ A_1A_2=c_2,$$
$$(A_1')^2+(A_2')^2=1/4. \quad (1.15)$$

Однако получить в явном виде зависимость A_1 и A_2 от y в элементарных функциях не удается. Как следует из интегралов (1.15), зависимость между A_1 и A_2 определяется равнобочной гиперболой и при приложении возмущения реализуется одна из ветвей гиперболы. При этом отношение

$$\varepsilon=A_1/A_2=c_2/A_2^2 \quad (1.16)$$

будет изменяться от единицы при $x = l$, где $A_1=A_2$, $\xi_1+\xi_2=0$, и резко уменьшаться при изменении величин A_1 и A_2, то есть $1\geq\varepsilon>0$. В этом можно убедиться после вычисления постоянных интегрирования, которые будут определены далее. Если уравнения системы (1.14) разложить по параметру ε, учитывая величины не выше ε, придем к системе

$$A_1'=A_1/2A_2,\ A_2'=-1/2,\ \varphi_1'=0,\ \varphi_2'=0. \quad (1.17)$$

Введенный параметр ε делает систему (1.17) близкой к системе (1.14). Действительно, при ε=1 система (1.17) перейдет в систему (1.14), а при малых значениях ε – вследствие ее малой величины. Система (1.17) имеет решение

$$A_2=c_1-y/2,\ A_1=c_2/(c_1-y/2),$$
$$\varphi_1=c_3,\ \varphi_2=c_4. \quad (1.18)$$

При этом для амплитуды относительного смещения $R=|Z|$ с учетом отношения (1.16) можно записать:

$$R=c_1-y/2+c_2/(c_1-y/2)\cos(2y+c_3+c_4). \quad (1.19)$$

Для определения выражений для смещения слоев стержня u_1 и u_2 обратимся к системе (1.9). Если ввести переменные $V=Z+D$ и $D=V-Z$, то получим дифференциальное уравнение для V:

$$V''+V=0. \quad (1.20)$$

Уравнение имеет решение

$$V=c_7\exp(\xi_3)+c_8\exp(-\xi_4), \quad (1.21)$$

$$\xi_3 = y + c_5,\ \xi_4 = y + c_6.$$

Тогда для функций u_1 и u_2 можно записать решение в комплексной форме

$$u_1 = (KZ + K_2 D)\exp(i\omega t),$$
$$u_2 = K_2(V - Z)\exp(i\omega t). \qquad (1.22)$$

Входящие в эти перемещения функции определены выше. Они содержат постоянные интегрирования c_j, которые должны быть определены из граничных условий. Граничные условия для такого составного стержня могут быть весьма разнообразны. Рассмотрим составной стержень длины l. При этом предполагаем, что относительные вибрации между слоями будут распространяться на всю длину стержня. Зададим кинематические граничные условия в комплексной форме

$$u_1(0,t) = H_1\exp(i\omega t),$$
$$u_2(0,t) = H_2\exp(i\omega t), \qquad (x=0) \qquad (1.23)$$
$$u_1(l,t) = 0,\ u_2(l,t) = 0. \qquad (x=l)$$

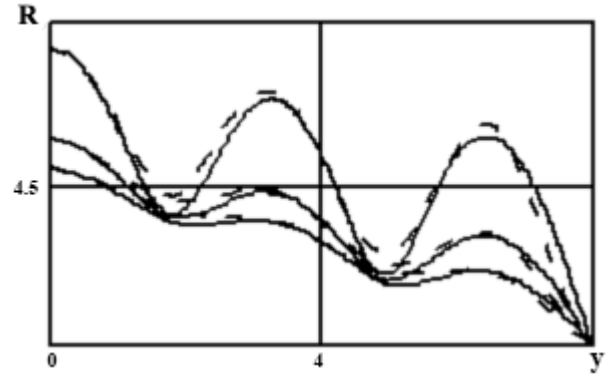
Из этих граничных условий определяются постоянные интегрирования.

$$c_3 + c_4 = -2L,\ c_5 + c_6 = -2L,$$
$$c_2 = -(c_1 - L/2)^2,\ c_7 = -c_8,\ c_7 = \lambda/2\sin L,$$
$$\lambda = (H_2Q_2 + H_1Q_1)\omega^2\pi\rho Q_2/4(Q_1+Q_2)q,$$
$$tgc_3 = c_1^2\sin 2L/s, \qquad (1.24)$$
$$s = (c_1 - L/2)^2 - c_1^2\cos 2L,\ tgc_5 = ctgL,$$
$$L = \alpha l,\ H = (H_1 - H_2)/K,$$
$$c_1^2 + (c_1 - L/2)^4/c_1^2 - 2(c_1 - L/2)^2\cos 2L = H.$$

Постоянная интегрирования c_1 определяется из последнего выражения системы (1.24) численным методом или из приближенного выражения при учете отношения (1.16):

$$c_1 - (c_1 - L/2)^2\cos(2L)/c_1 = H. \qquad (1.25)$$

Выражение (1.25) получено из (1.19), определяющего равенство амплитуды относительного смещения и амплитуды относительного возмущения на конце стержня, при $x=0$. При этом берется значение $c_1 > 0$. Сравним полученное решение для амплитуды относительного смещения R(y) с результатом численного интегрирования первого уравнения системы (1.9). На фиг. 1 представлены зависимости R(y) в безразмерной форме. Сравнение выполнено при одинаковых граничных условиях и постоянном по длине давлении для нескольких значений амплитуд возмущающих воздействий на конце стержня при условии, что вибрации распространяются по всей длине рассматриваемого стержня. Сплошными линиями показаны результаты численного интегрирования, штриховыми – приближенного решения. Из представленной графической зависимости видно, что расхождение невелико.



Фиг. 1

2. Определим параметры системы и внешнего воздействия, обеспечивающие распространение относительных вибраций на всю длину l рассматриваемого стержня. Для этого рассмотрим полубесконечный стержень с кинематическим граничным условием

$$\eta(0,t) = (H_1 - H_2)\exp(i\omega t). \quad (x=0) \qquad (2.1)$$

Решение для относительных смещений будем искать также в виде (1.2). В рассматриваемом случае удается найти решение [4], содержащее две постоянные интегрирования c_1, c_2 и удовлетворяющее убыванию амплитуды с ростом x. Для комплексной амплитуды относительных смещений решение уравнения (1.9), тождественно удовлетворяющее ему, имеет вид:

$$Z = (c_1 - y/2)\exp(-i(y + c_2)). \qquad (2.2)$$

Тогда для относительных смещений в действительной форме запишем

$$\eta(x,t) = K(c_1 - y/2)\cos(\omega t - y - c_2). \qquad (2.3)$$

Удовлетворяя граничному условию (2.1), постоянные интегрирования примут значения $c_1 = (H_1 - H_2)/K,\ c_2 = 0$, а зона распространения относительных вибраций определится из условия положительности амплитуды

$$x_* = 1/2(H_1 - H_2)c\omega\pi\rho Q_1Q_2q^{-1}(Q_1+Q_2)^{-1}. \qquad (2.4)$$

Следовательно, решение (2.3) справедливо для значений $0 < x \le x_*$. При $x > x_*$ следует принять $\eta(x,t) = 0$, то есть сечения Q_1 и Q_2 будут совершать вибрации совместно без относительных смещений слоев. Заметим, что если $q \to 0$, координата $x_* \to \infty$, что соответствует отсутствию демпфирования. При больших значениях q вибрации локализируются около возмущенного конца стержня. Как следует из (2.4), величина x_* зависит от частоты воздействия ω. Поэтому для распространения вибраций на длину стержня l необходимо значение частоты, равной не менее $\omega = \omega_*$.

$$\omega_* = 2q(Q_1+Q_2)l/(H_1-H_2)c\pi\rho Q_1Q_2. \qquad (2.5)$$

Следовательно, если проследить за вибрациями в составном стержне длиной l при изменении частоты от нуля до частоты $\omega > \omega_*$, то сначала необходимо воспользоваться решением (2.3), а при достижении частоты до $\omega = \omega_*$ – решением для системы (1.12). Далее отметим, что если в исходной системе заменить $u_2 = 0$, а $\eta(x,t) = u_1(x,t)$, то автоматически получим решение задачи о распространении вибраций в стержне конечной длины, прижатом к неподвижной шероховатой поверхности [1].

3. Рассмотрим необратимые потери в составном стержне при вибрациях составного стержня. Эти потери могут быть определены как работа сил трения на относительном смещении слоев по длине стержня за период возмущающего воздействия:

$$W = \int_0^x \int_0^{2\pi/\omega} F_{Tp} \frac{\partial \eta}{\partial t} dt dx. \qquad (3.1)$$

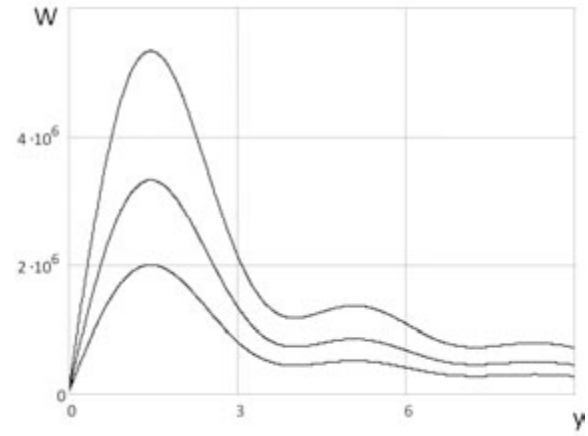
Силу трения возьмем с учетом ее линеаризации в виде

$$F_{Tp} = -q\,sign\,\dot{\eta} = \frac{4q\dot{\eta}}{\pi K R \omega}. \qquad (3.2)$$

Вычисление потерь по формуле (3.1) дает выражение

$$W = 4qK\int_0^x R(y)dx = \frac{4qK}{\alpha} S(y). \qquad (3.3)$$

Здесь $S(y)$ – площадь под графиком для амплитуды относительных смещений, ограниченной координатой $y = \alpha x$, при фиксированном значении x, равном значению длины L рассматриваемого стержня. На фиг. 2 представлено несколько зависимостей потерь на трение от координаты $y = \omega L/c$ для различных значений величины силы трения q. Зависимости показывают, что потери существенно зависят от величины трения и частоты внешнего воздействия ω.



Фиг. 2

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Койбин А. В. Распространение вибраций в коротком упругом стержне при наличии сухого трения // Изв. АН МТТ. 1986. № 6. С. 170–173.
2. Миронов М. В. О распространении в стержнях продольных колебаний с медленно меняющимися параметрами // Изв. АН СССР. МТТ. 1969. № 4. С. 91–96.
3. Пальмов В. А. Распространение вибраций в нелинейной диссипативной среде // ПММ. 1967. Т. 31. Вып. 4. С. 749–756.
4. Пановко Я. Г. Внутреннее трение при колебаниях упругих систем. М.: Физматгиз, 1960. 193 с.

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ ПЕТРОЗАВОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Сентябрь, № 3 **Технические науки** **2008**

УДК 519.61

ГЕННАДИЙ НИКОЛАЕВИЧ КОЛЕСНИКОВ
доктор технических наук, профессор кафедры механики ПетрГУ
kgn@sampo.ru
ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ КУВШИНОВ
соискатель кафедры механики ПетрГУ
dak@ptz.ru

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛУКОЭРЦИТИВНОГО МЕХАНИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТОКОПРИЕМНИКА И КОНТАКТНОЙ СЕТИ ПРИ ВЫСОКОЙ СКОРОСТИ ЭЛЕКТРОВОЗА

В статье рассматривается методика численного моделирования контактной сети и токоприемника электровоза как механической системы с полукоэрцитивным взаимодействием элементов. Для моделирования такого взаимодействия используются связи, сопротивляющиеся только сжатию. На модельных примерах рассмотрено изменение силы контактного взаимодействия в зависимости от скорости движения электровоза.
Ключевые слова: численное моделирование, механическая система, контактное взаимодействие

Введение. В современных условиях содержанием одного из направлений развития электрифицированного железнодорожного транспорта в целях улучшения его технико-экономических характеристик является обеспечение экономичного и надежного функционирования систем «токоприемник – контактная сеть» при достаточно большой скорости движения поездов. В этой связи появляется ряд актуальных проблем, относящихся как к совершенствованию известных инженерных решений, так и к созданию новых систем названного выше вида, что предопределяет необходимость все более детального их исследования [15]. Комплексное исследование степени влияния различных факторов на характеристики систем «токоприемник – контактная подвеска», безусловно, требует проведения экспериментов. Однако по техническим и экономическим условиям проведение таких экспериментов возможно при ограниченном наборе конструктивных и технологических характеристик. В этой связи становится не только целесообразным, но и необходимым применение соответствующих математических моделей и современной вычислительной техники. Основным направлением в изучении рассматриваемых систем является математическое моделирование с применением численных методов [7; 22].

Применение методов математического моделирования позволяет решать достаточно сложные задачи, в которых, например, учитывается, что при определенных условиях (недостаточная сила начального нажатия токоприемника, колебания токоведущего провода в вертикальной плоскости и т. д.) возможен кратковременный однократный или повторяющийся разрыв электрической цепи вследствие появления зазора между токоприемником и токоведущим проводом. При этом имеет место повышенный электроэрозионный износ контактирующих элементов. Можно избежать появления зазоров, увеличивая силу начального нажатия токоприемника. Однако увеличение силы контактного взаимодействия приводит, соответственно, к увеличению силы трения и ускоре-

© Колесников Г. Н., Кувшинов Д. А., 2008

нию по этой причине износа контактирующих элементов. Таким образом, очевидна необходимость постановки и решения соответствующей оптимизационной задачи, для чего нужны адекватные математические модели и алгоритмы их компьютерной реализации.

Известны математические модели механических систем рассматриваемого класса, разработанные с применением метода конечных элементов и метода конечных разностей (см., например, [8; 6]). При разработке и компьютерной реализации таких моделей появляется ряд проблем. Наибольшие затруднения обусловлены необходимостью учета возможности появления зазоров между токоприемником и контактным проводом при некоторой скорости движения электропоезда. Имеет место конструктивная нелинейность, так как структура механической системы в данный момент времени зависит от того, закрыт или открыт зазор. Решение задачи может быть найдено с использованием методов нелинейной механики [19], например по схеме последовательных нагружений [14].

Нами была предложена методика расчета, в которой применен прямой алгоритм решения задачи на каждом шаге по времени, что достигается использованием соответствующей разностной схемы [10; 11]. Методика предназначена, в частности, для исследования изменения силы контактного взаимодействия полоза токоприемника электровоза и токоведущего провода контактной сети. Сила контактного взаимодействия токоприемника с токоведущим проводом заранее неизвестна и подлежит определению как один из результатов решения задачи. Особенность алгоритма заключается в том, что стандартные зависимости метода конечных элементов дополнены соотношениями для сил контактного взаимодействия и величин зазоров, аналоги дифференциальных уравнений движения записаны с использованием односторонних конечных разностей, а расчет на шаге по времени сведен к линейной задаче дополнительности, для решения которой применен известный алгоритм [12; 17].

Для обеспечения стабильного качества токосъема по всей длине токоведущего провода амплитуда его поперечных колебаний не должна быть избыточно большой, в том числе при автоколебаниях [22]. Амплитудой поперечных колебаний провода можно управлять, изменяя силу его натяжения. На модельной задаче нами была рассмотрена методика исследования взаимовлияния поперечных и продольных колебаний токоведущего провода контактной сети в зависимости от силы натяжения. Задача решается с применением численных методов [11].

1. Математическая модель. Современное состояние и развитие методов расчета механических систем с контактным взаимодействием элементов отражено в нескольких работах [16], [24], [5], [1], [9], [3]. В данном случае при построении математической модели использованы стандартные соотношения метода конечных элементов в форме метода перемещений, в которых учтены изгиб в вертикальной плоскости и продольные деформации стержней [20]. Токоведущий провод и поддерживающие его фрагменты контактной сети разбиваются на элементы конечной длины. Уравнения движения записываются с учетом сил упругого и вязкого сопротивления в стандартной форме. При этом длина каждого из элементов принимается достаточно малой, что позволяет, используя известную методику [2], исключить из рассмотрения вращательные степени свободы.

С физической точки зрения модель контактного провода представляет собой упорядоченное множество масс, сосредоточенных в узлах и соединенных упругими элементами. Продольная и поперечная жесткость каждого из стержней определяется геометрическими характеристиками его поперечного сечения и свойствами материала. В рассматриваемой модели каждая из масс (которые в данном случае могут рассматриваться как материальные точки) имеет две степени свободы.

В матричной форме уравнение движения рассматриваемой механической системы с полукоэрцитивным взаимодействием элементов имеет следующий вид:

$$\mathbf{R} = \mathbf{M}\ddot{\mathbf{U}} + \mathbf{K}\dot{\mathbf{U}} + \mathbf{r}\mathbf{U} - \mathbf{P} - \mathbf{C}\mathbf{N}, \qquad (1)$$

где $\mathbf{M}$ – матрица масс, $\mathbf{K}$ – матрица, учитывающая диссипацию энергии, $\mathbf{r}$ – матрица жесткости, $\mathbf{P}$ – вектор узловых сил, $\mathbf{U}$ – вектор перемещений узлов конечно-элементной модели. Элементы вектора $\mathbf{R}$ представляют собой реакции фиктивных связей метода конечных элементов в форме метода перемещений. Эти реакции равны нулю.

Соотношение (1) отличается от стандартной формулировки метода конечных элементов [20], [2] компонентом $\mathbf{CN}$, которым в нашем случае учитывается влияние сил контактного взаимодействия. Эти силы представлены элементами вектора $\mathbf{N}$. Здесь $\mathbf{C}$ – матрица коэффициентов в уравнениях равновесия.

Перемещения $\mathbf{U}$, текущие и начальные значения зазоров ($\mathbf{D}$ и $\mathbf{D}_0$ соответственно) связаны между собой геометрическими соотношениями

$$\mathbf{D} = \mathbf{C}^{\mathrm{T}}\mathbf{U} + \mathbf{D}_0. \qquad (2)$$

По физическому смыслу задачи уравнения (1) и (2) необходимо дополнить следующими выражениями:

$$\mathbf{R} = 0, \ \mathbf{D}^{\mathrm{T}}\mathbf{N} = 0, \ \mathbf{D} \geq 0, \ \mathbf{N} \geq 0. \qquad (3)$$

Таким образом, рассматриваемая задача сводится к поиску решения системы равенств и не-

равенств (1–3), то есть исходная задача формулируется как линейная задача дополнительности. Достаточно эффективный в вычислительном отношении алгоритм решения задачи может быть построен с использованием разработанного ранее подхода [12], [17].

Применяя явную схему с односторонними конечными разностями, заменим соотношения (1–3) их конечно-разностными аналогами:

$$\mathbf{R}_i = \mathbf{A}\mathbf{U}_i - \mathbf{C}\mathbf{N}_i + \widehat{\mathbf{P}}_i$$
$$\mathbf{D}_i = \mathbf{C}^{\mathrm{T}}\mathbf{U}_i + \mathbf{D}_0$$
$$\mathbf{R}_i = \mathbf{0};\ \ \mathbf{D}_i^{\mathrm{T}}\mathbf{N}_i = 0;\ \ \mathbf{D}_i \geq \mathbf{0};\ \ \mathbf{N}_i \geq \mathbf{0},$$

где

$$\mathbf{A} = \mathbf{M}\tau^{-2} + \mathbf{K}\tau^{-1} + \mathbf{r},$$
$$\widehat{\mathbf{P}}_i = \boldsymbol{\tau}^{-2}\mathbf{M}\mathbf{U}_{i-2} - \mathbf{B}\mathbf{U}_{i-1} - \mathbf{P}_i,\ \ \mathbf{B} = 2\mathbf{M}\tau^{-2} + \mathbf{K}\tau^{-1},$$

τ – шаг по времени, i – номер шага.

Первые два соотношения запишем в матричной форме:

$$\begin{bmatrix}\mathbf{R}_i\\ \mathbf{D}_i\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\mathbf{A} & -\mathbf{C}\\ \mathbf{C}^{\mathrm{T}} & \mathbf{0}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\mathbf{U}_i\\ \mathbf{N}_i\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}\widehat{\mathbf{P}}_i\\ \mathbf{D}_0\end{bmatrix}.$$

Используя жордановы исключения в блочной форме, переведем все переменные, обязательно равные нулю, в правую часть данного равенства. Эти переменные представлены всеми элементами блока $\mathbf{R}_i$ и некоторыми (неизвестными заранее) элементами блоков $\mathbf{D}_i$, $\mathbf{N}_i$. Переведем $\mathbf{R}_i$ в правую часть. Получим:

$$\begin{bmatrix}\mathbf{U}_i\\ \mathbf{D}_i\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\mathbf{A}^{-1} & \mathbf{A}^{-1}\mathbf{C}\\ \mathbf{C}^{\mathrm{T}}\mathbf{A}^{-1} & \mathbf{C}^{\mathrm{T}}\mathbf{A}^{-1}\mathbf{C}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\mathbf{R}_i\\ \mathbf{N}_i\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}-\mathbf{A}^{-1}\widehat{\mathbf{P}}_i\\ \mathbf{D}_0 - \mathbf{C}^{\mathrm{T}}\mathbf{A}^{-1}\widehat{\mathbf{P}}_i\end{bmatrix}.$$

Таким образом, можно записать следующие соотношения:

$$\mathbf{D}_i = \mathbf{C}^{\mathrm{T}}\mathbf{A}^{-1}\mathbf{C}\mathbf{N}_i + \mathbf{D}_0 - \mathbf{C}^{\mathrm{T}}\mathbf{A}^{-1}\widehat{\mathbf{P}}_i$$
$$\mathbf{D}_i^{\mathrm{T}}\mathbf{N}_i = 0;\ \ \mathbf{D}_i \geq 0;\ \ \mathbf{N}_i \geq 0.$$

Обозначим

$$\mathbf{Y} = \mathbf{D}_i;\ \ \mathbf{X} = \mathbf{N}_i;\ \ \mathbf{H} = \mathbf{C}^{\mathrm{T}}\mathbf{A}^{-1}\mathbf{C};$$
$$\mathbf{W} = \mathbf{D}_0 - \mathbf{C}^{\mathrm{T}}\mathbf{A}^{-1}\widehat{\mathbf{P}}_i.$$

Тогда, очевидно,

$$\mathbf{Y} = \mathbf{H}\mathbf{X} + \mathbf{W}.$$

По физическому смыслу рассматриваемой задачи матрица коэффициентов $\mathbf{H}$ квадратная, положительно определенная. Для неизвестных переменных выполняется соотношение:

$$\mathbf{Y}^{\mathrm{T}}\mathbf{X} = 0;\ \mathbf{Y} \geq 0;\ \mathbf{X} \geq 0.$$

Тем самым на шаге i по времени приходим к известной формулировке линейной задачи дополнительности [23].

Заметим, для решения рассматриваемой контактной задачи могут быть использованы различные алгоритмы [24], [3], [16]. В данном случае эффективным в вычислительном отношении является применение алгоритма с энергетическим критерием выбора разрешающей строки [12], [17].

Решив линейную задачу дополнительности, найдем $\mathbf{D}_i$ и $\mathbf{N}_i$ на шаге i по времени. Затем определим перемещения узлов конечно-элементной модели:

$$\mathbf{U}_i = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{R}_i + \mathbf{A}^{-1}\mathbf{C}\mathbf{N}_i + (-\mathbf{A}^{-1}\widehat{\mathbf{P}}_i).$$

Касательную составляющую силы контактного взаимодействия токоведущего провода и токоприемника определим, используя закон Амонтона – Кулона $T = fN$, где f – коэффициент трения, N – нормальная составляющая силы контактного взаимодействия.

2. Алгоритм решения. Для численной реализации математической модели разработан алгоритм, который может быть представлен в следующем виде.

1. С использованием метода последовательных приближений [19], [14] определяется деформированное состояние провода, на который действуют сила собственного веса, сила натяжения и сила начального нажатия токоприемника. Таким образом, решается задача статики с учетом геометрической нелинейности по аналогии с [22], [11].

2. Для определения перемещений узлов конечно-элементной модели используется явная схема с односторонними конечными разностями. На первом шаге по времени в качестве исходного принимается состояние статического равновесия, найденное по п. 1.

3. На очередном шаге по времени i в качестве исходного состояния принимается состояние объекта исследования, найденного на предыдущем шаге $i-1$. Решается линейная задача дополнительности с целью определения зазоров $\mathbf{D}_i$, нормальных составляющих сил контактного взаимодействия полоза токоприемника и токоведущего провода $\mathbf{N}_i$, перемещений узлов конечно-элементной модели $\mathbf{U}_i$.

4. Касательные составляющие сил контактного взаимодействия на шаге i вычисляем, используя найденные на предыдущем шаге значения нормальных сил:

$$\mathbf{T}_i = f\,\mathbf{N}_{i-1}.$$

5. Найденные перемещения $\mathbf{U}_i$ используем для нахождения новых значений координат узлов конечно-элементной модели и пересчета матрицы жесткости системы. Каждый шаг по времени сопровождается перемещением токоприемника на расстояние, равное длине конечного элемента токоведущего провода по направлению движения электровоза. Изменение геометрической схемы объекта моделирования учитывается пересчетом как матрицы жесткости, так и элементов матрицы $\mathbf{C}$.

6. В качестве критерия остановки счета используется число шагов по времени. Точность такого расчета приемлема, если величина шага по времени достаточно мала.

3. Модельный пример. Объект исследования схематически представлен на рис. 1.

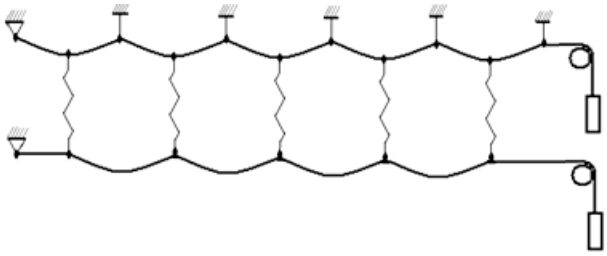


Рис. 1. Модель участка контактной сети

За основу модели взята плоская схема замещения пространственной ромбовидной автокомпенсированной контактной сети (ПРАКС) [7; 21]. Несущий трос и токоведущий провод закреплены шарнирно-неподвижно в начале первого пролета. Промежуточные опоры несущего троса рассматриваются как примыкающие шарнирно-подвижные опоры. Несущий трос и токоведущий провод связаны упругими элементами, обладающими жесткостью 3,6 кН/м. Пролеты токоведущего провода и несущего троса одинаковы, равны 10 м. Натяжение токоведущего провода и несущих тросов создается противовесами. Сила натяжения троса 24 кН, провода – 19,6 кН. Несущий трос и токоведущий провод разбиваются на конечные элементы длиной 2,5 и 0,25 м соответственно. Токоприемник моделируется механической системой двух подпружиненных масс по аналогии с [13]. Масса полоза – 16 кг, приведенная масса нижних рам и пружин токоприемника – 45 кг, жесткость верхней пружины равна 6 кН/м, нижней пружины – 1 кН/м.

Требуется, принимая во внимание жесткость провода при растяжении и при изгибе, исследовать изменение силы контактного взаимодействия токоведущего провода и полоза токоприемника F в зависимости от скорости движения электровоза V.

Некоторые результаты вычислений по изложенному в разделе 2 алгоритму приведены на рис. 2–7. В начальный момент времени токоприемник располагается в середине первого пролета, начальная сила нажатия токоприемника F_0 = 100 Н.

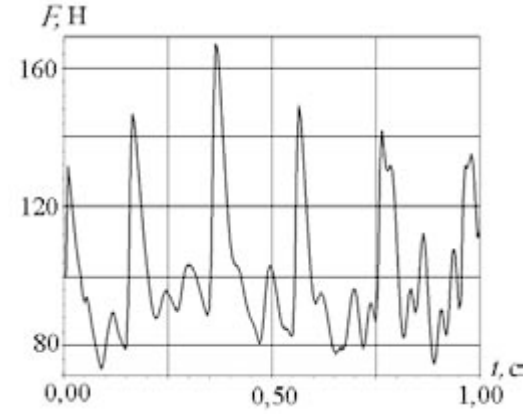


Рис. 2. Изменение силы контактного взаимодействия F в зависимости от времени t. V = 180 км/час

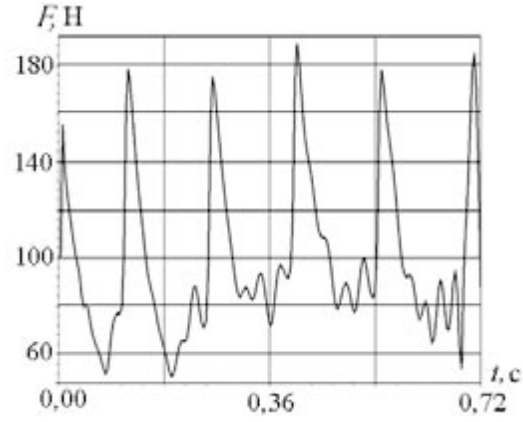


Рис. 3. Зависимость $F(t)$. V = 250 км/час

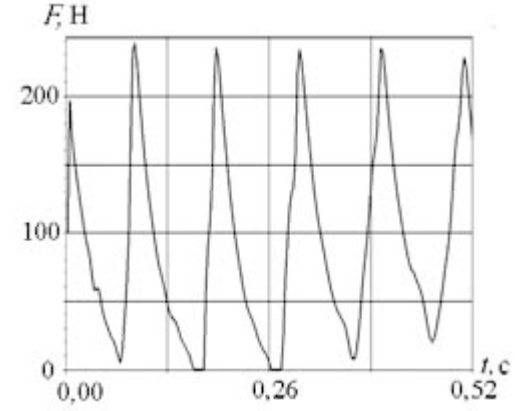


Рис. 4. Зависимость $F(t)$. V = 340 км/час

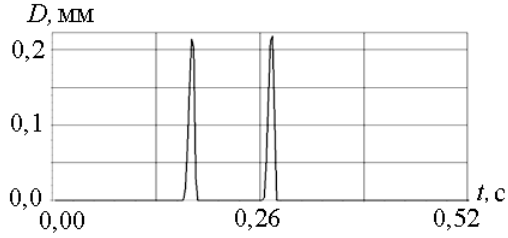


Рис. 5. Изменение величины зазора *D* между токоведущим проводом и полозом токоприемника в зависимости от времени *t*. *V* = 340 км/час

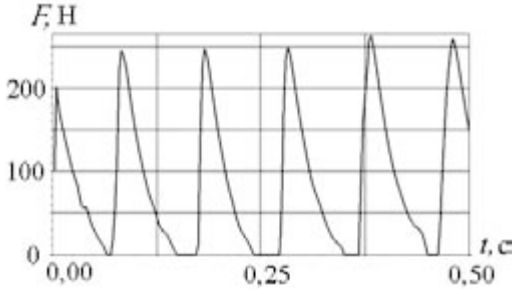


Рис. 6. Зависимость *F*(*t*). *V* = 360 км/час

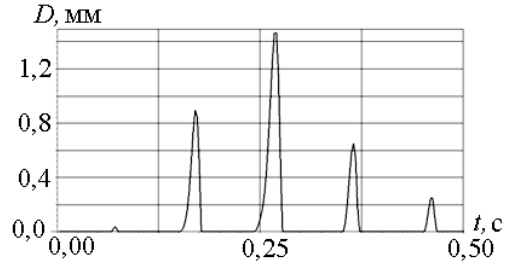


Рис. 7. Зависимость *D*(*t*). *V* = 360 км/час

Анализ результатов численного моделирования показывает следующее.

При прохождении полозом токоприемника узлов присоединения струн имеет место быстро протекающий процесс изменения силы контактного взаимодействия токоприемника с токоведущим проводом.

С увеличением скорости движения электровоза возрастает интервал изменения силы контактного взаимодействия.

При достаточно высоких скоростях возможно появление зазора и, как следствие, снижение качества токосъема (рис. 5–7).

Эти закономерности хорошо известны специалистам по результатам наблюдений, натурных испытаний и численных экспериментов в данной области исследований, что позволяет сделать вывод об адекватности результатов моделирования.

Заключение. Представленная в данной статье методика численного моделирования позволяет прогнозировать состояние системы «контактная сеть – токоприемник» при различных значениях скорости движения электровоза, начальной силы контактного взаимодействия, расстояний между опорами и струнами, жесткости струн, массы и жесткости токоприемника, силы натяжения токоведущего провода и других характеристик системы. Тем самым в дополнение к возможностям известных методик [15], [7], [22], [8] [6] расширяется набор инструментов для исследования систем «контактная сеть – токоприемник», что может быть использовано при совершенствовании и оптимизации этих систем.

Результаты моделирования по представленной методике могут быть использованы при выполнении расчетов контактных подвесок в целях улучшения технико-экономических характеристик электрифицированного железнодорожного транспорта.

Заметим, что механические системы с полукоэрцитивным (односторонним) взаимодействием элементов являются физически адекватными моделями разнообразных объектов, часто встречающихся в природе и технике. При математическом описании таких физических моделей применяются соотношения, аналогичные (1)–(3). При этом исходная задача сводится к линейной задаче дополнительности. Существуют примеры применения этих соотношений при решении других задач [4], [18].

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аргатов И. И., Дмитриев Н. Н. Основы теории упругого дискретного контакта. СПб.: Политехника, 2003. 233 с.
2. Бидерман В. Л. Теория механических колебаний. М.: Высш. шк., 1980. 408 с.
3. Бураго Н. Г., Кукуджанов В. Н. Обзор контактных алгоритмов // Известия РАН. Механика твердого тела. 2005. № 1. С. 45–87.
4. Васильев А. С., Никонова Ю. В., Раковская М. И. Математическое моделирование технологического процесса очистки древесины в коробдирочном барабане // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2008. № 1. С. 117–119.
5. Горячева И. Г., Чекина О. Г. Механика дискретного контакта // Механика контактных взаимодействий. М.: Физматлит, 2001. С. 418–437.
6. Егоров В. В. Динамический расчет вантово-стержневых систем с отключающимися элементами на основе конечно-элементной модели // www.tvp.ru/conferen/vsppm05s/kipso156.pdf.

7. Ерошенко С. В., Демченко А. Т., Туркин В. В. Метод прямого математического моделирования динамики контактных подвесок // Наука и транспорт. Спец. вып. журнала «Транспорт Российской Федерации». СПб.: Российская академия транспорта, 2007. С. 32–33.
8. Ефимов А. В., Галкин А. Г. Развитие теории проектирования контактной сети на основе учета продолжительности ее жизненного цикла // Транспорт Урала: Науч.-техн. журнал. Екатеринбург: УрГУПС, 2004. № 1. С. 53–59.
9. Иванов А. П. Динамика систем с механическими соударениями. М.: Международная программа образования, 1997. 336 с.
10. Кувшинов Д. А. Численное моделирование контактной сети и токоприемника электровоза как механической системы с полукоэрцитивным взаимодействием элементов // Системы управления и информационные технологии. Воронеж: Научная книга, 2008. № 2.3 (32). С. 360–364.
11. Колесников Г. Н., Кувшинов Д. А. Численное моделирование колебаний контактной подвески с учетом геометрической нелинейности // Информационные технологии моделирования и управления. Воронеж: Научная книга, 2008. № 1 (44). С. 98–103.
12. Колесников Г. Н., Раковская М. И. Энергетический критерий очередности перехода односторонних связей в действительное состояние // Обозрение прикл. и промышл. матем. 2006. Т. 13. Вып. 4. С. 652–653.
13. Комарова О. А. Особенности взаимодействия токоприемника с контактной подвеской при высоких скоростях движения электропоездов: Дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07. СПб., 2004. 147 с. http://diss.rsl.ru.
14. Лукаш П. А. Основы нелинейной строительной механики. М.: Стройиздат, 1978. 208 с.
15. Обеспечение качества токосъема // Железные дороги мира. 2000. № 4. http://www.css-rzd.ru/zdm/.
16. Пфайффер Ф., Глоккер К. Контакты в системах твердых тел // Прикладная математика и механика. 2000. Т. 61. Вып. 5. С. 805–816.
17. Раковская М. И. Об одном подходе к численному моделированию движения системы упругих тел с полукоэрцитивными контактами // Международная конф. «Шестые Окуневские чтения». 23–27 июня 2008 г., Санкт-Петербург: Материалы докладов. Т. 2. / Балт. гос. техн. ун-т (БГТУ). СПб., 2008. С. 45–49.
18. Раковская М. И., Никонова Ю. В. Численное моделирование и определение сил контактного взаимодействия длинномерных сортиментов в корообдирочном барабане // Системы управления и информационные технологии. Воронеж: Научная книга, 2008. № 1.3 (31). С. 397– 401.
19. Рудых О. Л., Соколов Г. П., Пахомов В. Л. Введение в нелинейную строительную механику. М.: АСВ, 1999. 103 с.
20. Смирнов А. Ф., Александров А. В., Лащеников Б. Я., Шапошников Н. Н. Строительная механика. Стержневые системы. М.: Стройиздат, 1981. 512 с.
21. Туркин В. В. Исследование взаимодействия пространственных автокомпенсированных контактных подвесок с токоприемниками: Дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07. М.: РГБ, 2005. 160 с. http://diss.rsl.ru.
22. Шумейко Г. С. Методики расчета предварительно напряженных систем двойных контактных подвесок на действие статических и ветровых нагрузок: Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.17, 05.22.07. М., 2003. 248 с. http://diss.rsl.ru.
23. Ferris M. C., Pang J. S. Engineering and Economic Applications of Complementarity Problems // SIAM Review. Dec. 1997. Vol. 39(4). P. 669–713.
24. Klarbring A., Pang J. Existence of solutions to discrete semicoercive frictional contact problems // Society For Industrial And Applied Mathematics. Journal On Optimization. 1998. Vol. 8 (2). P. 414–442.

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ ПЕТРОЗАВОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Сентябрь, № 3 **Технические науки** **2008**

УДК 630*30

ВЛАДИМИР СЕРГЕЕВИЧ СЮНЁВ
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой тяговых машин лесоинженерного факультета ПетрГУ
siounev@psu.karelia.ru

АЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ КОНОВАЛОВ
старший преподаватель кафедры экономики и управления производством экономического факультета ПетрГУ
akon@psu.karelia.ru

АЛЕКСАНДР АНАТОЛЬЕВИЧ СЕЛИВЕРСТОВ
кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры тяговых машин лесоинженерного факультета ПетрГУ
saa.pk@onego.ru

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ЛЕСОЗАГОТОВОК НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРТНОГО АНАЛИЗА

В статье представлено сравнение методов лесозаготовок по комплексному критерию, учитывающему качество заготавливаемых лесоматериалов, производительность систем машин и удельные прямые эксплуатационные затраты. Исследования проведены на лесозаготовительных предприятиях Республики Карелия.

Ключевые слова: технология лесозаготовок, производительность машин, затраты, качество древесины, сравнительная оценка

Устойчивое, экономически эффективное развитие лесного сектора неразрывно связано с выбором и обоснованием наиболее эффективных технологий лесозаготовок, адаптированных к конкретным природно-производственным условиям лесных территорий. Сегодня лесозаготовительные предприятия, планируя экономическую эффективность производства древесины, в качестве основного рассматривают критерий «результат – затраты», делая упор на минимизацию затратной части, что отражается на прибыли как основе эффективности. В то же время затратная часть не может являться окончательным условием, так как при выборе технологий лесозаготовок важно учитывать и другие немаловажные факторы, влияющие на экономическую эффективность. Среди них необходимо выделить производительность применяемых систем машин и механизмов, качество заготавливаемой древесины, экологические последствия применения этих технологий и техники, причем все эти факторы должны реализовываться в условиях безубыточности ведения лесозаготовительной деятельности. Поэтому при оценке эффективности применяемых технологий лесозаготовок они должны рассматриваться комплексно. Указанные факторы оценки эффективности технологий лесозаготовок взаимосвязаны и влияют друг на друга (рис. 1).

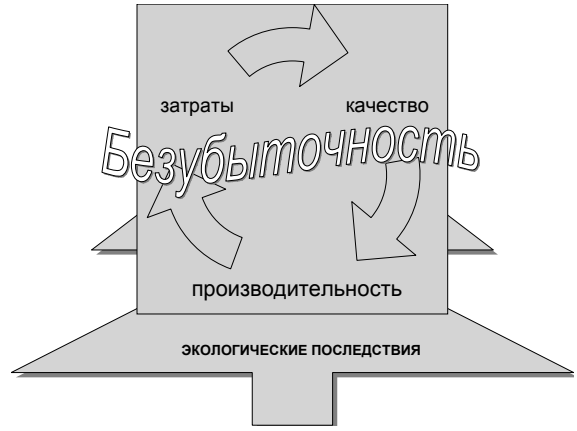


Рис. 1. Факторы комплексной оценки технологий лесозаготовок

© Сюнёв В. С., Коновалов А. П., Селиверстов А. А., 2008

Нами была поставлена задача исследования ряда предприятий Республики Карелия и оценки эффективности на основе указанных факторов, что позволит в дальнейшем обосновать экономическую эффективность использования систем лесозаготовительных машин и области их применения.

Для решения поставленной задачи были исследованы 15 лесозаготовительных предприятий, обеспечивающих до 40 % объема заготовки древесины в Республике Карелия. Рассматриваемые предприятия применяют все основные виды технологий лесозаготовок: заготовка деревьями, хлыстами и сортиментами. Распределение объемов лесозаготовок по данным технологиям в исследованных предприятиях показано на рис. 2.

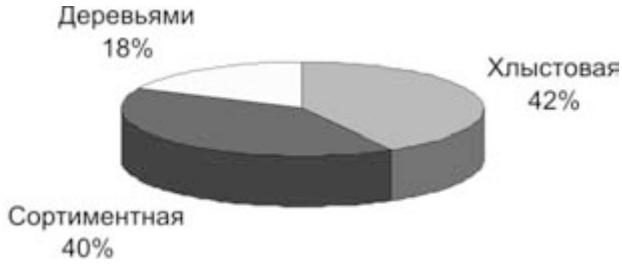


Рис. 2. Распределение объемов древесины по технологиям лесозаготовок в рассматриваемых предприятиях

Хлыстовая технология и заготовка деревьями традиционно используются предприятиями лесопромышленного комплекса Карелии с 50-х годов прошлого века. Сортиментную технологию в ее современном виде предприятия стали постепенно внедрять с начала 1990-х годов. Первоначально сортиментная технология строилась преимущественно на использовании труда вальщиков леса с бензопилами импортного производства и самозагружающегося сортиментовоза (форвардера). В дальнейшем технология развивалась по пути машинизации, то есть основывалась на использовании комплекса лесозаготовительных машин (валочно-сучкорезно-раскряжевочная машина (харвестер + форвардер)). Доля сортиментной технологии начиная с 2000 года заметно возросла и составляет около 70 %.

Рассмотрим вышеуказанные технологии. В общем виде технология лесозаготовок включает в себя: комплекс лесосечных работ, лесоскладские (на промежуточной лесопогрузочной площадке, верхнем складе) работы, транспортировку лесоматериалов.

Для сортиментной технологии характерны следующие технологические операции: валка деревьев, очистка стволов от сучьев и раскряжевка хлыстов у «пня» на сортименты, погрузка сортиментов на форвардер и последующая трелевка в полностью погруженном положении на промежуточную лесопогрузочную площадку или верхний склад, разгрузочные работы, сортировка сортиментов по отдельным штабелям, погрузка сортиментов на лесовозный автотранспорт и вывозка во двор потребителю.

Хлыстовая технология, в отличие от сортиментной, предполагает валку деревьев с последующей их очисткой от сучьев у «пня», в результате получаются хлысты, которые в дальнейшем трелюют на лесопогрузочную площадку у лесовозной дороги, там они укладываются в штабеля, а затем загружаются на лесовозные автопоезда и транспортируются на нижний склад или площадку лесоперерабатывающего предприятия, где разгружаются и подаются на обработку и раскряжевку на сортименты определенного назначения. На нижнем складе дополнительно сортименты формируются в штабеля и погружаются на транспортные средства для доставки потребителям. Сучья и отходы перерабатываются на топливную или технологическую щепу.

Технология заготовки деревьями, в отличие от хлыстовой технологии, предполагает обрезку сучьев у деревьев на лесопогрузочной площадке (обрезчиками сучьев или сучкорезной машиной), а не у «пня», то есть трелевка осуществляется целыми деревьями.

Таким образом, рассматриваемые технологии отличаются друг от друга по способу трелевки и уровню машинизации.

Для удобства дальнейшего рассмотрения данные технологии были сгруппированы и обозначены латинскими буквами:

A – сортиментная машинизированная;
B – сортиментная механизированная;
C – хлыстовая механизированная;
D – деревьями машинизированная;
E – деревьями механизированная.

Рассматривая производительность, необходимо отметить, что производственная программа лесозаготовительного предприятия должна быть выполнена при наименьшей потребности в основных производственных механизмах, поэтому главным показателем их использования является сменная производительность. От этого показателя зависит количество машиносмен для выполнения производственной программы, то есть потребность в механизмах. Чем выше сменная производительность, тем меньше требуется машиносмен, а значит, и механизмов. Кроме того, на основе данной производительности рассчитывается обобщающий показатель использования основных механизмов – выработка на списочную единицу техники.

Основными оцениваемыми параметрами выступили годовой объем заготовки и производительность на лесозаготовительных работах по основным операциям лесосечных работ [3].

В рамках исследования была определена средняя выработка на машиносмену по рассматриваемым технологиям.

В ходе исследований было выявлено, что наибольшей производительностью характеризуется технология *D*, а наименьшей – *C*. В то же время именно по технологии *D* наблюдается наибольший разброс производительности по предприятиям, что вызвано недостаточно эффективным планированием организации лесосечных работ, перерывами в ожидании перебазирования техники с делянки на делянку, большими сроками ремонтных работ в силу недостаточно развитой системы технического сервиса системы машин, работающей по данной технологии. Наименьший диапазон наблюдается по технологии *C*, что обусловлено традиционностью ее использования и отсутствием резервов повышения производительности. Производительность по технологии *A* выше, чем по технологии *B*, у которой наблюдается наибольший диапазон по выработке [3], [5].

На лесозаготовках все расходы по выполнению лесосечных работ при производстве круглых лесоматериалов в каждом периоде складываются из текущих расходов и части единовременных расходов, относимых на продукцию, изготовляемую в данном периоде. В рамках исследования в структуре прямых эксплуатационных затрат учитываем только прямые затраты именно на заготовку круглых лесоматериалов и не учитываем затраты на подготовку производства, покупную древесину, попенную плату, а также долю общеуправленческих расходов, традиционно относимую на прямые затраты. Иными словами, учитываем только те затраты, которые формируются от «пня» до верхнего склада: оплата труда с отчислениями производственных рабочих, амортизация используемых машин и механизмов, затраты на топливосмазочные материалы, затраты на техническое обслуживание и ремонт, прочие затраты, включая лизинг лесосечных машин и механизмов (а также износ МБП, резины, затраты на тросы, блоки и пр.). То есть учитываем только узкий круг прямых затрат, приходящихся на единицу работ (руб./м^3). В дальнейшем оцениваем вышеперечисленные затраты по экономическим элементам и по технико-экономическим факторам. При оценке по технико-экономическим факторам затраты группируют в зависимости от объемов лесозаготовок и делят на *условно-постоянные* и *условно-переменные* затраты, что позволяет нам оценить уровень безубыточности использования систем машин и механизмов [7], [2].

Наименьшие удельные затраты показывают технологии *D* и *E*, что вызвано их высокой производительностью, при этом диапазон затрат по предприятиям изменяется незначительно. В то же время наибольший уровень затрат характерен для технологий *A* и *B*, но при условии грамотной организации лесосечных работ и высокой производительности техники они могут выдавать меньшие затраты по сравнению с другими рассматриваемыми технологиями [3], [5], [2].

Оценка по технико-экономическим факторам позволяет оценить минимальный уровень производства круглых лесоматериалов, который обеспечивает безубыточность использования системы машин. В данном случае имеем (округленно, тыс. м^3/мес.): *A* – 2,0; *B* – 0,7; *C* – 0,6; *D* – 1,5; *E* – 0,8 [3].

Оценивая структуру затрат по технико-экономическим факторам, можно сделать вывод, что наибольшие постоянные затраты свойственны технологии *A*. Основной причиной является то, что средний возраст используемой техники мал, и чаще всего данная система машин приобретается по лизингу, что значительно увеличивает затраты в первые 3–5 лет использования техники за счет увеличенной амортизации (до 40 % в структуре затрат). Технология *B* также обеспечивает приемлемый уровень затрат, причем постоянные затраты составляют 16 %, так как в данной технологии используется меньшее количество единиц техники, а переменные затраты в основном формируются за счет затрат на оплату труда с отчислениями и материальных затрат. Структура удельных затрат на заготовку лесоматериалов по технологии E такова: 16 % – постоянные затраты и 84 % – переменные, которые также в основном состоят из затрат на оплату труда с отчислениями и материальных затрат. Затраты по традиционной технологии *C* (86 % – переменные, 14 % – постоянные) в основном также формируются за счет затрат на оплату труда и материальных затрат, причем в связи с сильным износом используемой техники величина амортизационных отчислений при данной технологии меньше, чем по другим технологиям. Негативное влияние на уровень себестоимости продукции оказывает традиционный вариант технологического процесса (технологии *C* и *E*), включающий, помимо комплекса лесосечных работ и вывозки, также и нижнескладские работы. Учитывая высокую стоимость используемого оборудования, большую степень его изношенности и низкий коэффициент использования, можно говорить о том, что данные технологии являются более затратными по сравнению с другими технологиями. В то время как сортиментная технология позволяет получать готовую продукцию практически на верхнем складе, хлыстовая технология и технология деревьями включают, помимо комплекса лесосечных работ и вывозки, также и нижнескладские работы, поэтому данные технологии оказывают далеко не положительное воздействие на экономику предприятия.

Лесозаготовительные работы неизбежно оказывают влияние на качество заготовленных круглых лесоматериалов [4]. Анализируя результаты исследования, можно увидеть, что наиболее высокое качество заготовленных сортиментов (процент брака – около 3 %)

обеспечивает технология *A* во всех исследованных районах Республики Карелия, которые существенно отличаются породным составом древостоя. Технологии *B* и *D* показали приемлемое качество сортиментов (процент брака – 4–5 %). Качество заготовленных сортиментов по технологиям *C* и *E* в летний сезон было низким (процент брака – 8–10 и 7–8 % соответственно) [6].

По технологиям *A* и *B* зачастую происходят нарушения рабочим персоналом технологии работы при выполнении следующих операций: вальщиками – раскряжевки ствола дерева на сортименты, операторами форвардера – погрузочно-разгрузочных работ, операторами харвестеров – валки дерева и последующей раскряжевки его на сортименты. Кроме того, по технологии *A* присутствовали нарушения при обслуживании технологического оборудования.

Необходимо отметить, что по технологии *D* отмечены нарушения у операторов скиддеров при выполнении операций трелевки деревьев и последующей их штабелевки на верхнем складе.

По технологиям *C* и *E* наблюдаются нарушения рабочим персоналом технологии работы при выполнении следующих операций: трактористами трелевочных тракторов – трелевки хлыстов или деревьев и последующей их штабелевки на промежуточной лесопогрузочной площадке или верхнем складе, обрезчиками (или обрубщиками сучьев) и операторами сучкорезной машины – обрезки сучьев у деревьев на делянке и верхнем складе соответственно, что приводило к появлению дефектов получаемых лесоматериалов.

В рамках исследования были установлены наиболее часто встречающиеся дефекты технологий (по классификации О. И. Полубояринова [4]):

A: дефекты обработки: сучья, сколы, отщепы, трещины; механические повреждения, причиненные сучкорезно-протаскивающим механизмом харвестерной головки при обрезке сучьев: вырывы и задиры.

B: дефекты обработки (поперечного перерезания): сколы, отщепы и трещины, а также механические повреждения (запилы) сортиментов пилой и грейферным захватом форвардера.

C и *E*: механические повреждения: вырывы, задиры, запилы и зарубы; загрязнения почвой в летний сезон заготовки.

D: дефекты обработки, такие как сколы, отщепы, трещины и сучья; механические повреждения: запилы, вырывы и задиры.

Таким образом, для повышения качества заготовляемых круглых лесоматериалов по всем технологиям лесозаготовок следует устранять обнаруженные нарушения и недостатки. Кроме того, необходимо дополнительно обратить внимание на подготовку операторов лесных машин. В целом при выполнении всех требований и инструкций возможно снижение уровня дефектов по всем рассматриваемым технологиям.

Структура технологического процесса лесозаготовок зависит от многих, в том числе вышеперечисленных, факторов, но значимыми являются также и эколого-лесоводственные требования, выполнение которых способствует формированию благоприятных условий для успешного естественного и искусственного возобновления леса. В связи с возросшими требованиями к экологической совместимости машин с лесной средой актуальным вопросом является учет влияния техники на лесную экосистему. Результаты бесед со специалистами лесозаготовительных предприятий подтверждают точку зрения, что данный критерий приобретает все большее значение. Поэтому оценку технологий лесозаготовок необходимо осуществлять посредством выявления воздействия технологических процессов на лесную среду, а именно: сохранность подроста, изменение структуры почвы (уплотнение, уменьшение пористости, минерализация и пр.), доля площади делянки, занятая волоками и промплощадками, а также повреждаемость остающегося на доращивание древостоя. В данном случае технологии *A* и *B* меньше травмируют верхний слой песчаных почвогрунтов, что в условиях хвойных лесов Карелии благоприятствует естественному возобновлению леса. В то же время технологии *D* и *E* благоприятно сказываются на лесовосстановлении в древостоях с мощным дерновым покровом. При традиционной технологии *C*, в отличие от *A* и *B*, значительно уплотняется верхний слой, но в то же время не происходит значительного образования колеи. Худшее сохранение подроста обеспечивает система машин по технологии *D*. Наилучшее сохранение подроста наблюдается при технологии *B* [1].

Таким образом, результаты наших исследований позволяют сделать вывод, что при сравнении и обосновании применения технологий для конкретных природно-производственных условий необходимо в качестве важнейших индикаторов использовать рассмотренные технико-экономические факторы (качество, производительность и затраты), которые должны реализовываться в условиях соблюдения эколого-лесоводственных требований и безубыточности производства. Взяв за основу вышеуказанный подход, по результатам проведенных исследований можно заключить, что наиболее перспективной в условиях Северо-Запада РФ является сортиментная технология лесозаготовок.

В целом отметим, что переход на сортиментную машинизированную технологию позволяет повысить качество заготавливаемой древесины, сократить затраты на производство и, как следствие, улучшить финансовое положение предприятия и конкурентоспособность продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов Ю. Ю., Карвинен С., Сюнёв В. С., Катаров В. К. Воздействие лесозаготовительной техники на лесную среду // IX Международная научно-техническая конференция «Лес-2008» [Электронный ресурс]. Брянск: БГИТА, 2008. Электрон. ст. Режим доступа к ст.: http://science-bsea.narod.ru/2008/les_2008/gerasimov_vozd.htm, свободный.
2. Заготовка древесины по сортиментной технологии. Рекомендации по расчету затрат / НИИ леса Финляндии. Исследовательский центр Йоэнсуу, 2004. 16 с.
3. Коновалов А. П., Селиверстов А. А. Технологии лесозаготовок: оценка по технико-экономическим факторам // Лесной эксперт. 2008. № 2 (47). С. 76–81.
4. Полубояринов О. И. Оценка качества древесного сырья: Учеб. пособие для студентов лесотехнических вузов. Л.: Лесотехническая академия им. С. М. Кирова, 1971. 70 с.
5. Сюнёв В. С., Коновалов А. П., Селиверстов А. А. Особенности учета затрат при различных технологиях заготовки леса на предприятиях Республики Карелия // Лесной эксперт. 2006. № 1(38). С. 60–62.
6. Сюнёв В. С., Селиверстов А. А. Исследование влияния сортиментной заготовки леса на качество получаемого древесного сырья // Научн. журнал БГИТА [Электронный ресурс]. Брянск: БГИТА, 2006. Электрон. ст. Режим доступа к ст.: http://science-bsea.narod.ru/2006/les_2006/slunev_ issledovan.htm, свободный.
7. Тихоненко В. А. Классификация и содержание затрат лесозаготовительной отрасли // Проблемы региональной экономики. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2005. С. 174–182.

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ ПЕТРОЗАВОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Сентябрь, № 3 **Технические науки** **2008**

УДК 630.32

ИЛЬЯ РОМАНОВИЧ ШЕГЕЛЬМАН
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесного комплекса лесоинженерного факультета ПетрГУ
shegelman@onego.ru

ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ СКРЫПНИК
заведующий лабораторией лесосечных работ и транспорта леса КарНИИЛПК, ПетрГУ
karniilp@onego.ru

РОМАН АЛЕКСАНДРОВИЧ ПЕТУХОВ
начальник отдела лесопромышленного комплекса Министерства лесного комплекса Республики Карелия
shegelman@onego.ru

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОРТИМЕНТНОЙ ЗАГОТОВКИ ЛЕСА

В работе рассмотрена динамика роста объемов заготовки леса в сортиментах в Республике Карелия. В сопоставимых условиях определены производительность и технико-экономические показатели работы комплексов машин для заготовки леса в хлыстах и сортиментах на базе техники производства России, Белоруссии и фирм дальнего зарубежья. Для различных комплексов машин определена годовая выработка, при которой обеспечивается преимущество заготовки леса в сортиментах в сравнении с заготовкой леса в хлыстах в сопоставимых условиях.

Ключевые слова: заготовка леса в сортиментах, заготовка леса в хлыстах, комплексы машин, производительность, технико-экономические показатели

В лесопромышленном комплексе Республики Карелия производится 40 % промышленной продукции. В ЛПК работают около 40 тысяч человек, из них 13 тысяч человек – непосредственно на лесозаготовках.

В 2006 году было заготовлено 6221 тыс. м^3 леса, в том числе 5349 тыс. м^3 на рубках главного пользования. Уровень освоения расчетной лесосеки – 68,5 %. В сортиментах заготовлено и вывезено 4113,6 тыс. м^3, или 66,2 % от общего объема заготовок.

В целом по России объемы сортиментной заготовки не превышают 9 %.

Лидирующее положение РК в заготовке леса по сортиментной технологии обусловлено тем, что на территории РК имеются значительные мощности по переработке древесины (Сегежский, Кондопожский, Питкярантский ЦБК, лесопильные комбинаты, заводы по производству ДСтП и ДВП), находящиеся от мест заготовок на экономически доступном расстоянии вывозки леса лесовозными автопоездами непосредственно потребителям. Увеличению объемов сортиментной заготовки и вывозки леса способствует и то обстоятельство, что значительный объем леса в сортиментах вывозится на экспорт автопоездами зарубежных фирм. Вывозка леса в сортиментах более эффективна, чем вывозка леса в хлыстах, так как увеличивается нагрузка на автопоезд, уменьшается среднее расстояние транспортировки, отсутствуют ограничения, налагаемые службой контроля за движением (ГИБДД), особенно на дорогах общего пользования; исключаются встречные перевозки (например, сначала на нижний склад предприятия в хлыстах, затем потребителям в сортиментах железнодорожным или автомобильным транспортом).

Анализ показал, что при сортиментной технологии заготовки леса эффект достигается в основном за счет уменьшения погрузочно-переместительных операций, избыточное количество которых производится на нижнем складе

© Шегельман И. Р., Скрыпник В. И., Петухов Р. А., 2008

[3]. Увеличению объемов сортиментной заготовки способствует и то, что в процессе приватизации и последующей неоднократной смены собственников образовалось большое количество мелких фирм, не имеющих нижних складов и поэтому работающих только по сортиментной технологии. В связи с этим за последние 12 лет (с 1994 по 2005 год) объем сортиментной лесозаготовки вырос в 21 раз.

Известны два основных технологических процесса заготовки сортиментов. В первом варианте технологического процесса непосредственно на лесосеке производится валка, обрезка сучьев и раскряжевка деревьев на сортименты, то есть сортименты получают непосредственно у пня; затем производится их трелевка в полностью погруженном положении [3].

Заготовка леса в сортиментах в первом варианте в основном производится двумя комплексами машин по следующим технологическим схемам.

1. Харвестер осуществляет валку деревьев, обрезку сучьев, раскряжевку и частичную сортировку сортиментов, форвардер используется на трелевке, сортировке и штабелевке сортиментов.
2. С помощью бензопил производится валка, обрезка сучьев и раскряжевка; форвардер используется на тех же операциях, что и в первом комплексе.
3. При небольших объемах заготовки возможно применение харвардеров – машин, выполняющих весь цикл работ по заготовке сортиментов на лесосеке, то есть валку деревьев, обрезку сучьев, раскряжевку, трелевку, сортировку и штабелевку сортиментов.

Во втором варианте технологического процесса заготовки сортиментов деревья или хлысты трелюются на погрузочную площадку, где они раскряжевываются на сортименты с последующей сортировкой и штабелевкой. При этом работа может осуществляться различными комплексами машин по следующим технологическим схемам.

4. Валка деревьев бензопилами, трелевка тракторами с манипуляторами (ТБ-1, ТБ-1М-15) или тракторами с тросочокерным оборудованием (ТДТ-55А, ТЛТ-100 и др.). После трелевки деревьев на верхнем складе с использованием процессора производится обрезка сучьев, раскряжевка и частичная сортировка и штабелевка сортиментов.
5. В мелких лесозаготовительных предприятиях, а также в сезонных бригадах, работающих по подряду, заготовка леса в сортиментах производится в основном по следующей технологии. Валка леса производится бензопилами, обрезка сучьев также бензопилами на лесосеке; тракторами с манипуляторами (ТБ-1, ТБ-1М-15) или тракторами с тросочокерным оборудованием (ТДТ-55А, ТЛТ-100) производится трелевка хлыстов к погрузочной площадке, где осуществляется раскряжевка хлыстов, частичная сортировка сортиментов и штабелевка с использованием отвала передней навесной системы трелевочных тракторов. При работе по четвертой и пятой технологическим схемам сортировка сортиментов затруднена. Поэтому окончательная сортировка производится в процессе самопогрузки автопоездов с использованием манипуляторов, что значительно увеличивает простои под погрузкой. Поэтому в этих случаях на сортировке и штабелевке сортиментов целесообразно использовать форвардеры.

Вполне применимы и следующие технологические схемы работы при заготовке сортиментов.

6. Валочно-трелевочные машины на валке – трелевке, обрезка сучьев, раскряжевка процессором на погрузочной площадке, штабелевка, сортировка форвардером на погрузочной площадке.
7. Валочно-пакетирующие машины на валке – пакетировании, трелевка деревьев тракторами с пачковыми захватами, обрезка сучьев и раскряжевка процессором, сортировка и штабелевка форвардером.

В каждой из указанных технологических схем на любой операции могут использоваться машины одного назначения, но различного класса по мощности, отличающиеся особенностями устройства технологического оборудования, типом движителя (колесный, гусеничный) и другими параметрами.

Лесозаготовителям предлагаются машины зарубежных компаний: Logman, Sampo Rosenlew, Gremo, Ponsse, Logset, Rottne, Kobelco, Daewoo, Volvo, Hitachi и др., причем четыре последние компании предлагают харвестеры на базе гусеничных экскаваторов. 70 % из списочного количества форвардеров в РК произведено компанией John Deere Foresty. В последние годы наиболее широко используются колесные харвестеры базового размерного класса весом от 15 до 19 тонн и мощностью двигателя 140–160 кВт, в частности, John Deere (Timberjack) 1270D, Ponsse Ergo, Valmet 911.

Харвестеры среднего класса весом от 13 до 15 тонн и мощностью двигателя около 120 кВт представлены здесь моделями Ponsse Beaver, Valmet 901, Logman 811H.

Харвестеры малого класса весом от 7 до 13 тонн и мощностью двигателя от 80 до 120 кВт представлены моделями Sampo Rosenlew 1046 и Logman 801.

Харвестеры тяжелого класса на базе экскаваторов весом от 19 тонн и мощностью двигателя до 180 кВт представлены моделями Vo1vo EC210BF, Kobelco SK 135 SRL и прочими машинами для сортиментной заготовки.

В настоящее время в Республике Беларусь РУП «МТЗ» (Республиканское унитарное предприятие «Минский тракторный завод») освоило выпуск харвестеров МЛХ-434 и МЛХ-423, а ОАО «Амкадор» – харвестера «Амкадор 2551» и форвардера «Амкадор 2661» среднего класса [1] .

Харвестеры среднего класса предназначены для работы в насаждениях со средним объемом хлыста от 0,25 до 0,4 м^3. Харвестеры этого класса нашли наибольшее распространение в РК.

Харвестеры малого класса Sampo Rosenlew и МТЗ-1221 МЛХ предназначены для работы на рубках главного пользования в низкобонитетных насаждениях со средним объемом хлыста до 0,17 м^3 или на рубках промежуточного пользования.

На трелевке, сортировке и штабелевке сортиментов в РК наибольшее распространение нашли форвардеры Timberjack 1010B (John Deere), Ponsse ELK, Ponsse Wisent. На нескольких предприятиях используются форвардеры ТБ-1М-16 производства ОАО «ОТЗ» на базе гусеничных тракторов с колесным полуприцепом. В двух лесозаготовительных предприятиях РК успешно эксплуатируются 4 форвардера МЛ-131 Минского тракторного завода.

Следует также отметить, что с ноября 2005 года сборку колесных харвестеров среднего класса Harvy 10H и форвардеров 10F на территории Карелии на Медвежьегорском заводе осуществляет Российская компания Harvy Foresty. Два комплекса в составе харвестера и форвардера Harvy Foresty, созданные на базе финской лесозаготовительной техники марки Pinox, работают в Карелии с начала 2006 года.

В среднем по всем лесозаготовительным предприятиям РК, использующим на заготовке леса харвестеры и форвардеры, сменная производительность форвардера составила 62,7 м^3, харвестера – 82,1 м^3, годовая выработка на списочный форвардер – 21,2 тыс. м^3, на харвестер – 21,3 тыс. м^3. Сравнительно низкая годовая выработка этих машин обусловлена их значительным износом [1].

ОАО «ЛКХ» Кареллеспром в 2005–2006 годах приобретено значительное количество комплексов машин для сортиментной заготовки. Эти комплексы находятся в хорошем техническом состоянии, ими достигнуты высокие показатели по производительности, значительно превышающие средние по всем лесозаготовительным предприятиям.

В 2005 году средняя сменная производительность форвардера составила 61,7 м^3, выработка на списочную машину – 33576 м^3, за год каждой машиной отработано 542 смены. Средняя сменная выработка на харвестер – 88,3 м^3, на списочную машину – 43978 м^3, за год каждым харвестером отработано 477 смен.

В 2006 году средняя выработка на машино-смену форвардера составляет 73,1 м^3, среднесписочным форвардером отработано 449 смен при годовой выработке 32817 м^3 [1]. Сменная выработка в среднем на харвестер достигает 90,4 м^3, годовая выработка – 38020 м^3, в год отработано 420,3 смены. Таким образом, имеются значительные резервы повышения производительности харвестеров и форвардеров.

Производительность харвестеров и форвардеров существенно зависит от природно-производственных условий (почвенно-грунтовые и рельефные условия, средний объем хлыста, длина хлыста, запас на гектар) и параметров заготовляемых сортиментов (длина, средний объем сортимента), а форвардеров – также от расстояния транспортировки сортиментов до погрузочной площадки (верхнего склада). Кроме того, в лесозаготовительных предприятиях харвестеры и форвардеры используются в различных по времени режимах. В частности, в бригадах, работающих вахтовым методом, машины эксплуатируются в 2 смены по 12 часов. В остальных предприятиях – в 2 смены по 8 часов.

Поэтому для получения объективных показателей по производительности использовались данные на час чистого времени работы, полученные в результате хронометражных наблюдений с приведением к сопоставимым условиям эксплуатации [1].

Исследовалась работа харвестеров Logman-801, Timberjack (John Deere) 1270D, Sampo Rosenlew 1046, Harvy Foresty 10H, «Амкадор 2551» и форвардеров МЛ-131, Harvy Foresty 10Ф, Timberjack 1010B и John Deere 1110D.

В процессе хронометражных наблюдений за работой харвестера фиксировалось время переездов и расстояние до места работы и обратно, затраты времени на ремонт, наладку технологического оборудования, перерывы в работе по организационным причинам, на отдых оператора и др. [1]. Затем определялось чистое время работы в смену. Такие показатели, как средний объем хлыста, количество хлыстов по породам, сортиментов соответствующего назначения и длины, объем сортиментов и другие, определялись путем обработки информации, полученной с бортового компьютера. Это дало возможность определить сортиментную структуру заготовленного леса и производительность харвестеров на час чистого времени работы.

При проведении хронометражных наблюдений за работой форвардеров фиксировались те же составляющие затрат времени, что и при наблюдении за работой харвестера. Кроме того, фиксировалось время на загрузку форвардера, движение с грузом, его разгрузку с сортировкой и укладкой сортиментов в штабеля, время маневрирования и движения холостым ходом, замерялся также объем трелюемых пачек сортиментов [1].

Исследование работы харвестеров и форвардеров среднего класса проводилось в типичных условиях эксплуатации (объем хлыста 0,25–0,3 м^3, расстояние трелевки – до 300 м).

Работа харвестеров Sampo Rosenlew 1046 (SR-1046) и МТЗ-1221 МЛХ исследовалась в лесосеках со средним объемом хлыста до 0,17 м^3, харвестера Logman-801 – в насаждениях с объемом хлыста 0,23 м^3. В сопоставимых условиях производительность на час чистого времени харвестеров John Deere 1270D и Harvy Foresty 10H составляет 19,2 и 18,6 м^3/час, то есть отличается в пределах 3–4 % и в основном зависит от квалификации оператора. По этому показателю харвестер «Амкадор 2551» значительно уступает этим

машинам; в сопоставимых условиях его производительность составляет 12 м^3/час, что на 30–35 % меньше, чем у харвестера John Deere 1270D. Это связано с недоработкой конструкции машины и недостаточным опытом ее эксплуатации.

Производительность на час чистого времени харвестера Logman-801 составляет 14,8–15,2 м^3 при среднем объеме хлыста 0,233 м^3, а Sampo Rosenlew 1046 – 11 м^3 при объеме хлыста 0,159 м^3. В сопоставимых условиях определены показатели работы форвардеров Tj-1010B, МЛ-131 и Harvy Foresty 10F.

Анализ полученных данных показывает, что скорость движения в грузовом и порожнем направлениях в нормальных условиях эксплуатации практически одинакова и составляет в порожнем – 70–72 м/мин, в грузовом – 58–65 м/мин. В тяжелых условиях эксплуатации (третья категория местности по несущей способности грунтов в период избыточного увлажнения), когда движение осуществлялось по разбитым волокам, на глубину более 60 см, заполненных жидкой грязью, и без средств повышения проходимости (цепи на передних колесах и гусеничные ленты, охватывающие попарно задние колеса), работа форвардеров невозможна, скорости движения сортиментовозов МЛ-131 и Tj-1010B были значительно ниже и составляли соответственно 29 и 34,6 м/мин, в порожнем – 41 и 40,4 м/мин [2]. Таким образом, можно сделать вывод, что проходимость и эксплуатационные скорости движения этих форвардеров практически одинаковы.

Более значительны расхождения в удельных затратах времени на набор пачки и разгрузку. Это связано с тем, что сортиментовоз МЛ-131, оснащенный механической трансмиссией, затрачивает больше времени на передвижение между стоянками, чем Tj-1010B или John Deere 1270B, имеющие гидростатическую трансмиссию. Например, удельные затраты времени на погрузку и разгрузку при работе после валки – раскряжевки бензопилами МЛ-131 составляют 3,34 и 0,86 мин/м^3, у John Deere 1270B – 3,2 и 0,82 мин/м^3, после валки – раскряжевки харвестером соответственно 2,2 и 0,969 мин/м^3 и 1,91 и 0,891 мин/м^3, то есть в первом случае отличаются на 4–5 %, во втором – на 8–13 % [2].

Удельные затраты времени на набор пачки и разгрузку у форвардеров Harvy Foresty 10F больше, чем у John Deere 1270B, на 25–30 %, что объясняется недостаточной квалификацией оператора, имевшего небольшой стаж работы на форвардере. Форвардеры МЛ-131 и МЛПТ-364, оснащенные соответственно механической и гидромеханической трансмиссией, имеют область применения, где их использование целесообразнее, чем форвардеров, имеющих гидростатическую трансмиссию.

Выбор типа трансмиссии для форвардеров диктуется условиями работы. Гидростатическая трансмиссия облегчает работу оператора форвардера и харвестера при работе непосредственно на лесосеке, когда машины осуществляют небольшие переезды и частые стоянки. При передвижении на значительные расстояния подобная трансмиссия перегревается, возникают ее отказы и поломки. Поэтому фирмы-изготовители запрещают переезд этих машин даже без груза на расстояние более 2 км (рекомендуют перевозить с лесосеки на трейлеры), то есть ко всему прочему не реализуются такие преимущества колесных машин, как возможность их самопередвижения по лесовозным дорогам и дорогам общего пользования.

Лесосечные машины производства Минского тракторного завода оснащены механической и гидромеханической трансмиссией и поэтому не имеют указанных недостатков. Поэтому они успешно эксплуатируются на транспортировке сортиментов на значительное расстояние. Указанное подтверждается практикой проведения лесосечных работ в различных лесозаготовительных предприятиях.

Например, в ООО «Устьянский лесопромышленный комплекс» (Архангельская область) в эксплуатации находятся три трактора-сортиментовоза МЛ-131, работающих в комплексе с харвестерами Timberjack 1270D. Расстояние транспортировки сортиментов до погрузочной площадки в зимнее время – до 500–600 м, в летнее – в среднем 500–800 м, сменная производительность при этом составляет 90–100 м^3. В этом же предприятии на лесосеках с низкой несущей способностью грунтов, особенно в период осенней и весенней распутицы, когда движение лесовозных автопоездов по временным автодорогам практически невозможно, форвардеры МЛ-131 транспортируют сортименты непосредственно с лесосеки или верхних складов к дорогам постоянного действия на расстояние 2–2,5 км. Эксплуатация форвардеров с гидростатической трансмиссией в таких условиях недопустима.

В ООО «Модерн» (Карелия) форвардеры МЛ-131 успешно использовались при укладке сплошного настила в основание покрытия лесовозных дорог, проходящих по заболоченным участкам местности. Кроме того, форвардеры с механической и гидромеханической трансмиссией могут успешно использоваться для сортировки и штабелевки леса на нижних складах, погрузочных терминалах и на сплавных участках лесозаготовительных предприятий.

Это связано с тем, что на небольших лесозаготовительных предприятиях, арендующих участки леса на небольшие промежутки времени, неэффективно создавать высокомеханизированные нижние склады с мощным крановым оборудованием и поточными линиями. При объемах погрузки 15–20 тыс. м^3 для проведения работ по сортировке леса и погрузке его в вагоны достаточно одного форвардера.

Оценка экономической эффективности машин и комплексов машин для сортиментной заготовки производства российских фирм и фирм Республики Беларусь – РУП «МТЗ» и «Амкадор» – произведена

в сопоставлении с технико-экономическими показателями машин и комплексов машин аналогичного производства зарубежных фирм, а также при работе по базовой технологии – заготовка хлыстов на лесосеке с последующей их раскряжевкой на сортименты на нижних складах.

Для получения сопоставимых показателей при сортиментной заготовке расчеты проведены по циклу работ: валка, обрезка сучьев, раскряжевка, трелевка сортиментов на верхнем складе (погрузочной площадке), а при заготовке леса в хлыстах по циклу работ: валка деревьев, трелевка, обрезка сучьев, штабелевка хлыстов, разгрузка хлыстов на нижнем складе, раскряжевка хлыстов, сортировка сортиментов с укладкой их в карманы-накопители, штабелевка сортиментов на нижнем складе.

При анализе вариантов затраты на вывозку сортиментов приняты в среднем на 30 руб./м^3 меньше, чем при вывозке в хлыстах, ввиду лучшего использования грузоподъемности автопоездов-сортиментовозов и, соответственно, их большей производительности. Кроме того, при заготовке леса в сортиментах зачастую транспортировка леса потребителям осуществляется непосредственно с лесосек, без перегрузки на нижних складах, что еще более снижает затраты на транспортировку.

В России из харвестеров, имеющих классическую компоновку, достаточно широко применяются харвестеры фирм Ponsse, Gremo, Valmet. Однако наибольшее распространение нашли харвестеры фирмы Timberjack (в настоящее время – John Deere). Поэтому анализ технико-экономических показателей харвестеров МЛХ-364 производства Минского тракторного завода проведен в сравнении с харвестером того же класса Tj-1270Д.

Из харвестеров на базе гусеничных экскаваторов и ВПМ к рассмотрению принят харвестер Volvo-EK220 производства шведской фирмы Volvo и МЛ-152 российского производства.

Форвардеры (погрузочно-транспортные машины) изготавливаются, как правило, на базе специализированных колесных шасси, которые при работе в тяжелых природно-производственных условиях (грунты с низкой несущей способностью) так же, как и харвестеры, оснащаются цепями и гусеничными лентами.

ОАО «ОТЗ» разработан и выпускается по заказам предприятий форвардер ТБ-1М-16 на базе гусеничного трактора повышенной проходимости ТЛТ-100-06, состоящий из базового трактора с манипулятором и колесного полуприцепа.

Проведенный КарНИИЛП анализ показал, что данный форвардер может успешно эксплуатироваться лишь на сплошных рубках, так как из-за расположения кабины с левой стороны по ходу движения трактора не обеспечены в достаточной мере видимость и условия погрузки сортиментов, находящихся с противоположной стороны от кабины трактора.

Для сравнительного анализа технико-экономических показателей выбраны форвардеры Tj-1010B, ТБ-1М-16, МЛ-131, МЛПТ-364.

Во втором технологическом процессе заготовки сортиментов, когда сортименты выпиливаются на погрузочной площадке, на трелевке, после валки бензопилами деревьев, используются тракторы с тросочокерным оборудованием, тракторы для бесчокерной трелевки с манипуляторами, а на обрезке сучьев и раскряжевке – процессоры различных конструкций. Традиционно и до настоящего времени для этих целей используются сучкорезно-раскряжевочные машины (трехмодульные процессоры) ЛО-120.

Во многих предприятиях на обрезке сучьев, раскряжевке на погрузочной площадке используются одномодульные процессоры или харвестеры на экскаваторной базе, работающие в режиме процессора, например Volvo EK-220, или валочно-пакетирующих машин, например МЛ-152 [3]. Технико-экономический анализ выполнен также для комплексов машин, в которых на трелевке используются тракторы с манипулятором ТБ-1М-15, с тросочокерным оборудованием ТЛТ-100, а также ВТМ-ЛП-17.

При использовании на валке – пакетировании ВПМ трелевка производится тракторами с пачковым захватом (скиддерами) на базе тракторов с колесным или гусеничным движителем. Из скиддеров с колесным движителем наиболее известны и широко применяемы Tj-460D фирмы John Deere, ШЛК-4-01 производства ОАО «ОТЗ»; возможно применение скиддера МЛ-127С производства РУП «МТЗ» [3].

Скиддеры на базе гусеничных тракторов производятся лишь в России. Они используются в тяжелых природно-производственных условиях (грунты с низкой несущей способностью, сильнопересеченный рельеф местности). На базе гусеничных тракторов ОАО «ОТЗ» различными предприятиями изготавливаются скиддеры ТБ-1М-30, ЛТ-230.

При значительных расстояниях трелевки достаточно эффективно использовать на этой операции трелевочный трактор с манипулятором, например серийно выпускаемый ОАО «ОТЗ» трактор ТБ-1М-15. Этот трактор последовательно собирает в коник деревья из 2–4 пачек, сформированных ВПМ общим объемом 6–8 м^3, тогда как тракторы с пачковым захватом трелюют в сопоставимых условиях пачки деревьев объемом 2–2,5 м^3.

При трелевке этими тракторами деревьев из пачек, сформированных ВПМ, время набора воза манипулятором уменьшается в 2,5–3 раза, за счет чего повышается производительность машины. Поэтому, несмотря на меньшую скорость движения по лесосеке в сравнении со скиддерами на колесной базе, они при значительных расстояниях трелевки по производительности превосходят скиддеры [1], [3]. Технико-экономический анализ проведен для комплексов машин, в которых на валке – пакетировании используются валочно-пакетирующие машины ЛП-19, Tj-850, а на трелевке – Tj-460, ШЛК-4-01, ТБ-1М-30, ЛТ-230.

В случае отсутствия скиддеров и тракторов с манипулятором трелевка осуществляется тракторами с тросочокерным оборудованием. Формируется воз из 2–3 пачек. При этом каждая пачка зачокеровывается одним чокером, что существенно уменьшает затраты времени на набор воза по сравнению со временем, затрачиваемым на эту операцию после валки деревьев бензопилами. На трелевке могут использоваться тракторы ТЛТ-100, выпускаемые ОАО «ОТЗ», или МЛ-127 РУП «МТЗ». Так как после обрезки сучьев и раскряжевки деревьев на погрузочной площадке сортименты укладываются в маломерные штабеля без надлежащей сортировки, то для создания, в случае необходимости, запаса сортиментов, а также для исключения операции сортировки сортиментов при самопогрузке автопоездов сортировка и штабелевка сортиментов на погрузочной площадке осуществляются форвардерами. В рассматриваемых комплексах машин на этих операциях целесообразно использовать МЛ-131, ТБ-1М-16, Tj-1010B.

Для получения сопоставимых показателей по циклу работ валка деревьев – штабелевка отсортированных сортиментов при заготовке леса в сортиментах на лесосеке и при заготовке леса в хлыстах учитываются затраты на раскряжевку, сортировку и штабелевку.

Расчеты произведены для условий работы в одну и две смены. Во всех вариантах при расчете технико-экономических показателей при односменной работе число отработанных смен в году принято равным 220, при двухсменной работе – 440. Такое же число отработанных за год смен принято для тракторов для бесчокерной трелевки, сучкорезно-раскряжевочных машин (процессоров), валочно-пакетирующих машин и скиддеров. В таблице приведены технико-экономические показатели работы основных комплексов машин для сортиментной заготовки при работе в двухсменном режиме.

Технико-экономические показатели работы машин при заготовке леса в сортиментах при двухсменной работе

Системы машин	Выполняемые операции	Выработка в смену, м^3	Балансовая стоимость, руб.	Годовая выработка, м^3	Затраты в смену, руб.	Уд. экспл. затраты, руб./м^3	Уд. кап. вложения, руб./м^3	Уд. прив. затраты, руб./м^3	Выработка на человекодень, м^3
Tj-1270D	вал, обр, раскр.	99,40	15400000,00	43736,00	9856,62	99,16	352,11	151,98	49,70
Tj-1010	сорт, трел, шт.	99,40	9016000,00	43736,00	7056,06	70,99	206,15	101,91	
Итого:						170,15	558,26	253,89	
БП сортименты	вал, обр, раскр.	10,00	16500,00	1966,00	899,00	89,90	8,39	91,16	8,73
МЛ-131	сорт, трел, шт.	68,60	3994500,00	30184,00	4280,00	62,39	132,34	82,24	
Итого:						152,29	140,73	173,40	
БП сортименты	вал, обр, раскр.	10,00	16500,00	1966,00	899,00	89,90	8,39	91,16	8,67
ТБ-1М-16	сорт, трел, шт.	65,00	3800000,00	28600,00	4244,00	65,30	132,86	85,23	
Итого:						155,2	141,25	176,42	
БП сортименты	вал, обр, раскр.	10,00	16500,00	1966,00	899,00	89,90	8,39	91,16	8,78
МЛПТ-364	сорт, трел, шт.	72,00	4911290,00	31680,00	5206,97	72,32	155,03	95,57	
Итого:						162,22	163,42	186,73	
БП сортименты	вал, обр, раскр.	10,00	16500,00	1966,00	899,00	89,90	8,39	91,16	8,78
Tj-1010	сорт, трел, шт.	72,00	9016000,00	31680,00	6788,59	94,29	284,60	136,98	
Итого:						184,19	292,99	228,13	
Volvo EK 220	вал, обр, раскр.	83,00	9000000,00	36520,00	7142,26	86,05	246,44	123,02	39,94
МЛ-131	сорт, трел, шт.	77,00	3994500,00	33880,00	4280,00	55,59	117,90	73,28	
Итого:						144,64	364,34	196,29	
Volvo EK 220	вал, обр, раскр.	83,00	9000000,00	36520,00	7142,26	86,05	246,44	123,02	41,50
МЛПТ-364	сорт, трел, шт.	83,00	4911290,00	36520,00	5137,02	61,89	134,48	82,06	
Итого:						147,94	380,92	205,08	
Volvo EK 220	вал, обр, раскр.	83,00	9000000,00	36520,00	7142,26	86,05	246,44	123,02	45,23
Tj-1010	сорт, трел, шт.	99,40	9016000,00	43736,00	7056,06	70,99	206,15	101,91	
Итого:						157,04	452,59	224,93	
Sampo 1046	вал, обр, раскр.	67,00	6300000,00	29480,00	5014,74	74,85	213,70	106,90	33,90
МЛ-131	сорт, трел, шт.	68,60	3994500,00	30184,00	4280,00	61,89	132,23	79,71	
Итого:						136,74	345,93	186,61	
МТЗ-1221МЛХ	вал, обр, раскр.	67,00	4566000,00	29480,00	4811,00	71,80	1545,88	95,03	33,90
МЛ-131	сорт, трел, шт.	68,60	3994500,00	30184,00	4280,00	61,89	132,23	79,71	
Итого:						133,69	287,11	174,75	

Окончание таблицы

Системы машин	Выполняемые операции	Выработка в смену, м^3	Балансовая стоимость, руб.	Годовая выработка, м^3	Затраты в смену, руб.	Уд. экспл. затраты, руб./м^3	Уд. кап. вложения, руб./м^3	Уд. прив. затраты, руб./м^3	Выработка на человекодень, м^3
МЛХ-364	вал, обр, раскр.	90,00	8500000,00	39600,00	6958,03	77,31	214,65	109,51	41,50
МЛ-131	сорт, трел, шт.	77,00	4000000,00	33880,00	4280,55	55,59	118,06	73,30	
Итого:						132,9	332,71	182,81	
Harvy Foresty X-10	вал, обр, раскр.	96,00	11900000,00	42240,00	8490,43	88,43	280,7	130,53	46,45
Harvy Foresty Ф-10	сорт, трел, шт.	94,00	7200000,00	41300,00	5904,2	62,8	174,3	88,94	
Итого:						151,23	455,0	219,47	
МЛ-152	вал, обр, раскр.	83,40	7500000,00	36696,00	6570,20	78,78	204,38	109,44	40,04
МЛ-131	сорт, трел, шт.	77,00	3994500,00	33880,00	4280,00	55,58	117,90	73,27	
Итого:						134,36	322,28	182,71	
БП деревья	вал.	60,00	16500,00	11796,00	899,00	14,98	1,40	15,38	14,43
ТЛТ-100-06	трел.	62,86	2215000,00	13828,57	3527,56	69,4	80,09	81,4	
ЛО-120	обр, раскр.	80,00	3822345,00	35200,00	3730,27	46,63	108,59	62,92	
МЛ-131	сорт, шт.	120,00	399450,00	52800,00	4280,00	35,67	75,65	47,01	
Итого:						166,68	265,73	206,71	
БП деревья	вал.	60,00	16500,00	11796,00	899,00	14,98	1,40	15,38	19,62
ТБ-1МА-15	трел.	74,29	3381000,00	32687,60	3486,61	46,93	103,43	62,45	
ЛО-120	обр, раскр.	80,00	3822345,00	35200,00	3730,27	46,63	108,59	62,92	
МЛ-131	сорт, шт.	120,00	3994500,00	52800,00	4280,00	35,67	75,65	47,01	
Итого:						144,21	289,08	187,76	
ВТМ (ЛП-17А)	вал, трел.	68,57	4200000,00	30171,43	3714,98	54,18	139,20	75,06	28,24
ЛО-120	обр, раскр.	80,00	3822345,00	35200,00	3730,27	46,63	108,59	62,92	
МЛ-131	сорт, шт.	120,00	3994500,00	52800,00	4280,00	35,67	75,65	47,01	
Итого:						137,14	323,45	184,99	
Logman-801	вал, обр, раскр.	90,00	13500000,00	39600,00	9035,28	100,39	340,91	151,53	41,50
МЛ-131	сорт, трел, шт.	77,00	3994500,00	33880,00	4280,00	55,58	117,90	73,27	
Итого:						155,97	458,81	224,80	
Logman-801	вал, обр, раскр.	90,00	13500000,00	39600,00	9035,28	100,39	340,91	151,53	47,23
Tj-1010	сорт, трел, шт.	99,40	9016000,00	43736,00	7056,06	70,99	206,15	101,91	
Итого:						171,38	547,06	253,44	

На валке, а также на валке – обрезке сучьев, раскряжевке бензопилами, трелевке тракторами с тросочокерным оборудованием расчеты для обоих вариантов проведены для условий работы в односменном режиме, что обусловлено требованиями техники безопасности. Во всех вариантах при анализе технологического процесса лесосечных работ с заготовкой леса в хлыстах с последующей раскряжевкой хлыстов на сортименты и штабелевкой на нижнем складе принята работа нижних складов в 2 смены.

Анализ расчетных данных показывает, что при работе в односменном режиме наименьший уровень удельных эксплуатационных и приведенных затрат достигается при производстве работ по технологической схеме (валка, обрезка сучьев, раскряжевка бензопилами, трелевка, сортировка и штабелевка форвардерами) при использовании на последних трех операциях форвардеров МЛ-131 или ТБ-1М-16. Эксплуатационные затраты составляют 170,5–186 руб./м^3, приведенные – 211–227 руб./м^3.

При двухсменной работе удельные расходы снижаются до 152,3–155,2 руб./м^3, а удельные приведенные затраты – до 173–176 руб./м^3. При использовании на трелевке, сортировке, штабелевке форвардера Tj-1010B затраты на эти операции при односменной работе увеличиваются в 1,7–1,9 раза, а по всему комплексу работ – в 1,5 раза. При этом эксплуатационные затраты по всему комплексу работ составляют 231,2 руб./м^3, а приведенные – 317,9 руб./м^3. При двухсменной работе удельные эксплуатационные и приведенные затраты значительно снижаются и составляют соответственно 184,2 и 228,1 руб./м^3.

Комплексная выработка на человекодень по циклу работ в рассматриваемом комплексе машин отличается незначительно и составляет соответственно 8,73 и 8,78 м^3 на человекодень.

По себестоимости заготовки и приведенным затратам приемлемыми являются технологические схемы с использованием на валке деревьев на лесосеке бензопил, на трелевке – тракторов

ТЛТ-100 с тросочокерным оборудованием или тракторов с манипулятором ТБ-1М-15, раскряжевкой машинами ЛО-120 на погрузочной площадке, сортировкой и штабелевкой форвардерами ТБ-1М-16 или МЛ-131. В этих вариантах комплексная выработка – 14,4–19,6 м^3 на человекодень, эксплуатационные затраты – 200–204 руб./м^3, приведенные – 284–286 руб./м^3. При двухсменной работе удельные эксплуатационные затраты составляют 144,2–153,4 руб./м^3, а приведенные – 187,8–193,4 руб./м^3. Меньшие значения этих показателей имеют комплексы, в которых на трелевке используются тракторы ТБ-15М.

В комплексах харвестер, форвардер в составе МЛХ-434, МЛ-131 или МЛ-152, МЛ-131 удельные приведенные затраты варьируются в диапазоне 295–182 руб./м^3 соответственно при одно- и двухсменной работе, а выработка на человекодень по рассматриваемому циклу работ составляет 41,5 м^3. При применении на заготовке сортиментов харвестеров и форвардеров зарубежного производства наибольшая производительность в комплексе машин Tj-1270 (John Deere) и Tj-1010 (49,7 м^3/человекодень).

Однако удельные приведенные затраты составляют 429,8 и 254 руб./м^3 соответственно при одно- и двухсменной работе. При использовании на валке, обрезке сучьев, раскряжевке более дешевых харвестеров на базе экскаваторов (например, комплекс в составе Volvo EK 220 и Tj-1010 B) приведенные затраты составляют соответственно 367,6 и 224 руб./м^3.

В комплексах машин, в которых на валке, обрезке сучьев, раскряжевке используются харвестеры различных зарубежных фирм, а на трелевке, сортировке и штабелевке – форвардеры производства РУП «МТЗ», приведенные затраты снижаются и составляют в сопоставимых условиях 322 и 196 руб./м^3 соответственно в одно- и двухсменном режиме работы, а выработка по рассматриваемому циклу работ составляет 41,5 м^3.

Для всех указанных комплексов машин технико-экономические показатели определены для типичных условий эксплуатации (средний объем хлыста – 0,25–0,3 м^3, расстояние трелевки – до 300 м, запас на 1 га – 160–170 м^3). Проведенные расчеты показывают, что в насаждениях со средним объемом хлыста до 0,17 м^3 наиболее эффективны харвестеры Sampo Rosenlew 1046 и МТЗ-1221 МЛХ, работающие в комплексе с МЛ-131.

Производительность по рассматриваемому циклу работ при объеме хлыста 0,159 м^3 – 10 м^3/час, а приведенные затраты при односменной работе – 296 и 268 руб./м^3 и 187 и 175 руб./м^3 – при двухсменной. Использование в таких же условиях машин среднего класса неэффективно, так как удельные эксплуатационные и приведенные затраты возрастают в 1,4–1,5 раза.

Рассчитаны технико-экономические показатели такого варианта технологического процесса заготовки сортиментов, когда после валки – пакетирования производится трелевка деревьев или хлыстов на погрузочную площадку, где производится их раскряжевка, сортировка и штабелевка. В частности, определены технико-экономические показатели комплексов машин, в которых на валке – пакетировании используются ВПМ-ЛП19 или Tj-850, на трелевке пачек деревьев – скиддеры (пачкоподборщики) ЛТ-230, ТЛК-4-01, Tj-460. Рассмотрен также вариант с использованием на валке – трелевке деревьев валочно-трелевочных машин ЛП-17А. Во всех комплексах, где на указанных операциях применяются машины российского производства, на обрезке сучьев, раскряжевке предусмотрено использование машин ЛО-120, на сортировке и штабелевке – МЛ-131.

В комплексе машин, в которых на валке – пакетировании применяется Tj-850, а на трелевке – Tj-460, на обрезке сучьев – раскряжевке предусмотрено использование Volvo EK 220, работающего в режиме процессора, а на сортировке – штабелевке – форвардера Tj-1010 B.

Следует отметить, что при данной технологии заготовки сортиментов на сортировке – штабелевке наиболее эффективно использовать форвардер (трактор-сортиментовоз) МЛ-131, допустимо применение и ТБ-1М-16. Это связано с тем, что при работе на погрузочной площадке снижается количество и расстояние переездов форвардера, поэтому практически тип трансмиссии (механическая, гидромеханическая, гидростатическая) не оказывает существенного влияния на производительность форвардера.

Анализ расчетных данных показывает, что при работе в одну смену в различных комплексах, сформированных из машин российского производства и производства РУП «МТЗ», приведенные затраты варьируются в диапазоне 262–294 руб./м^3, при работе в две смены – 181–193 руб./м^3; выработка на человекодень варьируется в пределах 14,4–32,94 м^3. Низшее значение этого показателя – в комплексе машин, в которых на валке используются бензопилы, а на трелевке – тракторы с тросочокерным оборудованием.

В комплексе на базе машин производства зарубежных фирм (Tj-850, Volvo EK 220, Tj-1010B) приведенные затраты составляют 400 и 243 руб./м^3, а выработка на человекодень по рассматриваемому циклу работ – 44,34 м^3.

Проведен анализ технико-экономических показателей технологического процесса лесосечных работ с заготовкой леса в хлыстах и последующей их раскряжевкой и штабелевкой на нижних складах. Во всех расчетах режим работы нижних складов принят в две смены.

Определена производительность на человекодень и технико-экономические показатели по следующим циклам нижнескладских работ: разгрузка и растаскивание хлыстов, раскряжевка хлыстов на полуавтоматической линии, сортировка лесоматериалов на транспортере вручную, штабелевка лесоматериалов кранами с помощью гибких строп. Выработка на человекодень на

нижнескладских работах составила 12,5 м^3, удельные эксплуатационные затраты – 87 руб./м^3, приведенные – 120 руб./м^3, превышение удельных приведенных затрат на вывозке леса в хлыстах в сравнении с вывозкой в сортиментах – 30 руб./м^3. Определены технико-экономические показатели различных комплексов машин для заготовки леса в хлыстах и в целом по рассматриваемому циклу работ с учетом работ на нижнем складе.

В частности, рассчитаны технико-экономические показатели комплексов машин с использованием на валке и валке – обрезке сучьев бензопил, на трелевке – тракторов с тросочокерным оборудованием и манипулятором, на транспортировке пачек деревьев – скиддеров (пачкоподборщиков) ЛТ-230, МЛ-30, ТБ-1М-30, Tj-460, тракторов с манипулятором ТБ-1МА-15, рассмотрен также вариант использования на валке – трелевке деревьев ВТМ ЛП-17А. Во всех вариантах на обрезке сучьев и штабелевке хлыстов используются сучкорезные машины ЛП-33-01. Всего проанализирована работа 15 комплексов машин.

Производительность на человекодень по рассматриваемому циклу работ при использовании на лесосечных и нижнескладских работах машин российского производства варьируется от 6,06 до 10,18 м^3. Нижний предел отмечается при использовании на валке и обрезке сучьев бензопил, на трелевке и штабелевке – ТЛТ-100-06, верхний – при валке – пакетировании ЛП-19Б, трелевке ТЛК-4-01, обрезке сучьев и штабелевке ЛП-33-01. Столь незначительный диапазон изменения производительности на человекодень по всему рассматриваемому комплексу работ при заготовке хлыстов полностью машинизированным методом и с использованием бензопил и тракторов с тросочокерным оборудованием, когда производительность на валке деревьев – штабелевке хлыстов соответственно составляет 57,08 и 12,23 м^3/человекодень, объясняется достаточно низкой комплексной выработкой на нижнем складе (12 м^3/человекодень).

Таким образом, даже при полной машинизации лесосечных работ при заготовке леса в хлыстах с последующей раскряжевкой и штабелевкой на нижнем складе производительность по рассматриваемому циклу работ меньше, чем при сортиментной заготовке, в 4–6 раз.

При односменной работе приведенные затраты по рассматриваемому циклу работ при хлыстовой заготовке и использовании комплекса машин российского производства варьируются в пределах от 305 до 328 руб./м^3, при использовании зарубежной техники на лесосечных работах – от 348 до 368 руб./м^3. При односменной работе удельные приведенные и эксплуатационные затраты при заготовке леса по сортиментной технологии с использованием машин и комплексов машин российского производства и производства РУП «МТЗ» ниже на 35–40 %, чем при заготовке леса по традиционной технологии. В то же время при заготовке леса в сортиментах комплексами машин зарубежного производства удельные эксплуатационные и приведенные затраты превышают те же показатели при работе по традиционной технологии на 20–25 %.

При двухсменном режиме работы приведенные затраты при заготовке леса в хлыстах с последующей их раскряжевкой на нижнем складе снижаются до 252–269 руб./м^3.

При сортиментной заготовке леса и работе в том же режиме комплексами машин российского производства и производства РУП «МТЗ» эксплуатационные и приведенные затраты ниже, чем при заготовке леса по традиционной технологии, на 44–47 %.

При заготовке леса в сортиментах комплексами машин зарубежного производства и при двухсменном режиме работы (отработке 440 смен в году) удельные приведенные затраты практически равны удельным приведенным затратам при традиционной технологии лесозаготовок.

Согласно проведенным расчетам, при использовании на заготовке леса в сортиментах комплексов машин зарубежного производства в составе харвестеров и форвардеров экономический эффект в сравнении с традиционным методом заготовки обеспечивается при годовой производительности 38–40 тыс. м^3.

Проведенные исследования показали, что технологический процесс заготовки леса в сортиментах имеет значительные перспективы развития, так как при заготовке леса в сортиментах повышается комплексная выработка, снижаются трудозатраты, себестоимость заготовки. При этом работы могут осуществляться различными комплексами машин по технологическим схемам, обеспечивающим выработку сортиментов как непосредственно на лесосеке (у пня), так и на верхнем складе (погрузочной площадке).

Анализ работы лесозаготовительных машин РУП «МТЗ» показал, что лесозаготовительные комплексы для сортиментной заготовки на базе бензопил и форвардеров, а также харвестеров и форвардеров обеспечивают экономический эффект в сравнении с традиционной технологией (заготовка хлыстов на лесосеке с последующей раскряжевкой хлыстов на сортименты, сортировкой и штабелевкой на нижнем складе) при достижении годовой выработки на первый комплекс машин 14 тыс. м^3 и 18 тыс. м^3 – на второй, то есть при отработке соответственно 204 и 230 смен в год, то есть даже при работе в односменном режиме.

Достаточно эффективны комплексы машин, в которых на валке и трелевке используются машины российского производства: ВПМ, ВТМ, тракторы с манипулятором, на раскряжевке – ЛО-120 или процессоры зарубежного производства, на сортировке и штабелевке – форвардеры производства РУП «МТЗ», например МЛ-131 или МЛПТ-364. Применение таких комплексов машин рационально при постепенном переходе от хлыстовой технологии заготовки леса к сор-

тиментной с целью снижения уровня единовременных капитальных вложений.

Использование комплексов машин зарубежного производства в одну смену неэффективно и недопустимо, так как эксплуатационные и приведенные затраты превышают те же показатели при работе по традиционной технологии на 20–25 %.

Кроме работы на заготовке леса в сортиментах, лесозаготовительные машины РУП «МТЗ» могут успешно использоваться на транспортировке и укладке дровяной древесины при устройстве сплошного настила в основание покрытия лесовозных дорог на грунтах с низкой несущей способностью: на транспортировке сортиментов до промежуточных складов у магистральных лесовозных дорог в случаях, когда на дорогах временного действия не обеспечена проходимость автопоездов; на нижних и верхних складах для сортировки и штабелевки сортиментов.

Во всех этих случаях применение форвардеров МЛ-131 и МЛПТ-364, имеющих соответственно механическую и гидромеханическую трансмиссию, предпочтительнее, чем форвардеров зарубежного производства, которые имеют жесткие ограничения по допустимому расстоянию транспортировки, налагаемые фирмами-производителями машин из-за возможного перегрева гидростатической трансмиссии и выхода ее из строя.

Машины для сортиментной заготовки производства РУП «МТЗ» (харвестеры, форвардеры) в сравнении с машинами того же назначения зарубежных фирм имеют определенные преимущества по технико-экономическим показателям при заготовке сортиментов (меньший уровень эксплуатационных и приведенных затрат), кроме того, могут эффективно использоваться на транспортировке сортиментов на значительные расстояния, на строительстве лесовозных дорог и др.

Однако в среднем харвестеры и форвардеры производства РУП «МТЗ» отрабатывают меньшее число смен в год в сравнении с зарубежными аналогами и, соответственно, уступают по такому показателю, как годовая выработка на комплексе машин по рассматриваемому циклу работ.

Анализ данных, полученных в результате исследования работы харвестеров легкого класса (Sampo Rosenlew 1046) в производственных условиях, показал, что при заготовке в низкобонитетных насаждениях с объемом хлыста до 0,17 м^3 применение этих машин обеспечивает значительный экономический эффект в сравнении с использованием в этих условиях харвестеров среднего класса (удельные эксплуатационные и приведенные затраты ниже на 33–35 %).

Предварительные расчеты показывают, что при равной производительности в сопоставимых условиях удельные приведенные затраты по циклу работ: валка, обрезка сучьев, раскряжевка при использовании на этих работах харвестера производства РУП «Минский тракторный завод» МТЗ-1221 МЛХ на 9 и 10 % ниже соответственно при односменном и двухсменном режиме.

Масштабы применения машин для сортиментной заготовки леса производства РУП «МТЗ» в Карелии и в целом в России в сравнении с применением машин производства фирм дальнего зарубежья недостаточно велики. Это связано с тем, что РУП «МТЗ», в отличие от наиболее известных зарубежных фирм, недостаточное внимание обращает на рекламу, создание комплекса сервисных услуг, оперативное обеспечение предприятий запасными частями. Не созданы центры обучения операторов и обслуживающего персонала, отсутствуют необходимые учебные пособия.

Для более успешного продвижения своей продукции на рынок РУП «МТЗ» необходимо в основных лесозаготовительных районах выбрать базовые предприятия для внедрения в производство лесозаготовительных машин производства РУП «МТЗ» с созданием при них сервисных центров, обеспечить рекламу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шегельман И. Р., Скрыпник В. И. Исследование, анализ и обоснование технико-экономических показателей комплексов машин Минского тракторного завода и технологии работы при проведении лесосечных работ. Научный отчет КарНИИЛПК № 02-06-138, 2007. 167 с.
2. Шегельман И. Р., Скрыпник В. И., Галактионов О. Н. Белорусский форвардер на лесосеке // Деловой лес. 2004. № 11. С. 59–62.
3. Шегельман И. Р., Скрыпник В. И., Галактионов О. Н. Техническое оснащение современных лесозаготовок. СПб.: Профи-Информ, 2005. 326 с.

Сентябрь, № 3 **Технические науки** **2008**

УДК 630.36.004

ВЕНИАМИН НИКОЛАЕВИЧ ШИЛОВСКИЙ
доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии металлов и ремонта лесоинженерного факультета ПетрГУ
tmir@psu.karelia.ru

АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ САЛИВОНИК
кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры целлюлозно-бумажных и деревообрабатывающих производств лесоинженерного факультета ПетрГУ
tmir@psu.karelia.ru

ГРИГОРИЙ ЮРЬЕВИЧ ГОЛЬШТЕЙН
аспирант кафедры технологии металлов и ремонта лесоинженерного факультета ПетрГУ
tmir@psu.karelia.ru

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАРУБЕЖНОЙ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

В статье представлена методика повышения эффективности технической эксплуатации лесозаготовительных машин.

Ключевые слова: лесозаготовительная техника, эффективность, запчасти, эксплуатационные материалы, резервирование, оптимизация

Рациональное планирование потребности по номенклатуре и объему запасных частей (ЗПЧ) и эксплуатационных материалов (ЭМ), оптимизация управления их запасами требуют нового уровня научных исследований, оценки, мониторинга, совершенствования и управления системой обеспечения ЗПЧ и ЭМ лесозаготовительной техники, особенно для зарубежных лесозаготовительных машин (ЛЗМ), общее количество и доля которых в лесной отрасли неуклонно возрастают. Так, парк зарубежных ЛЗМ обеспечивает более 60 % всего объема заготовляемой древесины в РК.

Современные зарубежные ЛЗМ (в РК свыше 50 % составляют ЛЗМ фирмы «John Deere» («Timberjack»)) обладают высокой производительностью и надежностью, но одновременно предъявляют повышенные требования к техническому обслуживанию и ремонту, требуя технического сервиса высокого уровня. При этом нормативная база при эксплуатации техники, особенно зарубежных ЛЗМ, по расходу и обеспечению ЗПЧ и ЭМ в условиях РФ устарела или полностью отсутствует, и работы по ее обновлению и созданию проводятся не в полном объеме или не осуществляются совсем [1].

С целью повышения эффективности технической эксплуатации лесозаготовительной техники, в первую очередь зарубежных ЛЗМ, и с учетом анализа современного состояния научных и практических работ по созданию, поддержанию и совершенствованию системы обеспечения техники ЗПЧ и ЭМ сформировано дерево целей и задач повышения эффективности ЛЗМ путем оптимизации резервирования и поставок запасных частей и материалов, представленное на рис. 1.

Эффективность процесса резервирования ЗПЧ и ЭМ на складе предприятия можно оценить следующей функцией затрат (общий вид):

$$H\left(X_i^*\right) = \sum_i \min\{C_{Xi}\}, \qquad (1)$$

где X_i^* – оптимальное число запчастей i-го наименования, соответствующих минимуму суммарных затрат на резервирование и эксплуатацию Q машин, шт.; C_{Xi} – суммарные ожидаемые затраты на эксплуатацию парка из Q машин и от резервирования X деталей i-го наименования, руб.

© Шиловский В. Н., Саливоник А. В., Гольштейн Г. Ю., 2008

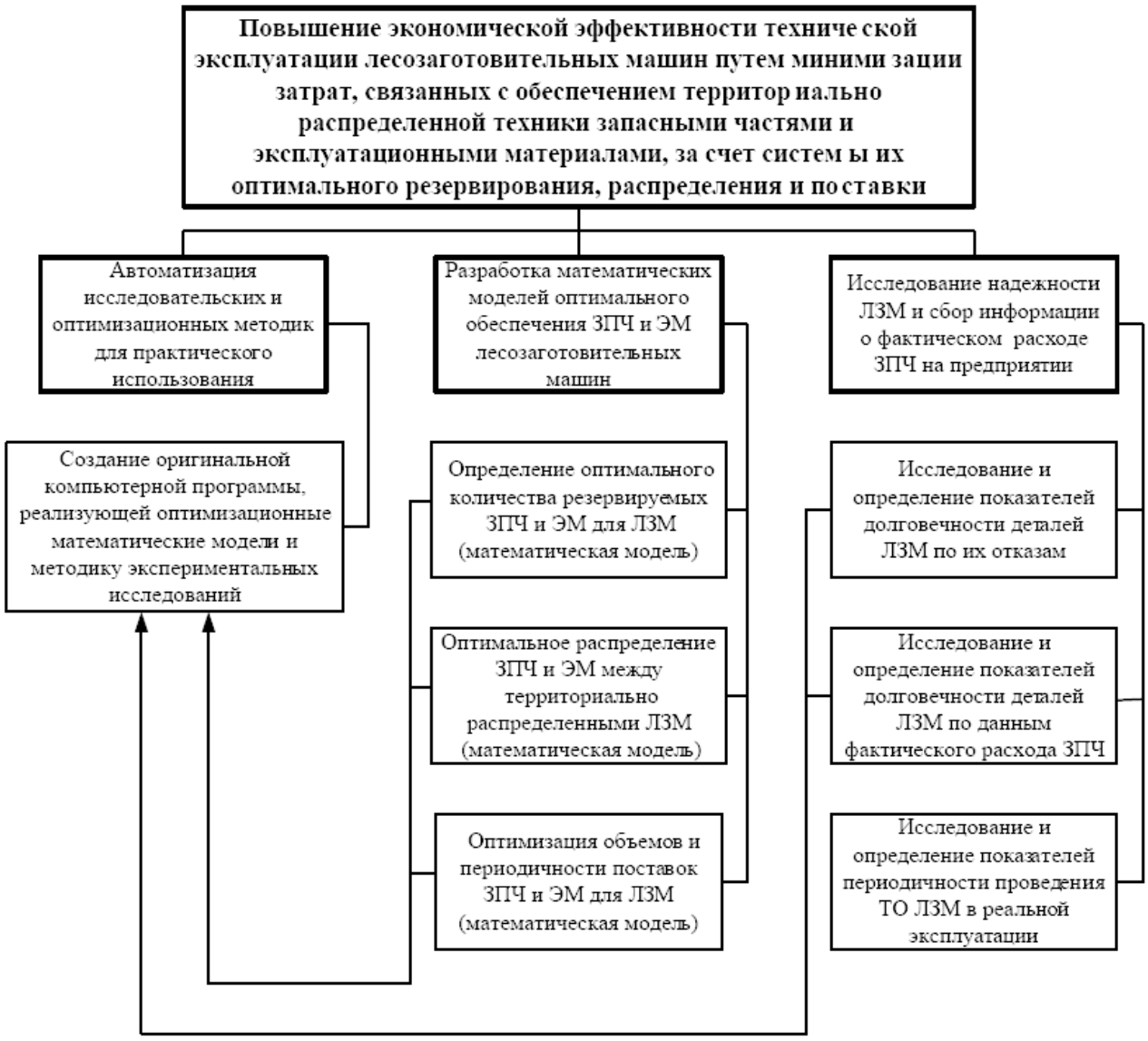


Рис. 1. Дерево целей и задач повышения экономической эффективности технической эксплуатации лесозаготовительных машин путем минимизации затрат, связанных с обеспечением ЗПЧ и ЭМ

Затраты на эксплуатацию парка из Q машин и на резервирование X деталей i-го наименования можно представить следующей целевой функцией:

$$C_{Xi} = R_{1i} + R_{2i} + D_i + S_i \to \min, \qquad (2)$$

где R_{1i} – затраты на устранение отказа ЛЗМ при наличии запчасти i-го наименования на складе лесозаготовительного предприятия, руб.; R_{2i} – затраты на устранение отказа ЛЗМ при отсутствии запчасти i-го наименования на складе лесозаготовительного предприятия, руб.; D_i – экономические потери предприятия от простоя ЛЗМ при отказе детали i-го наименования, руб.; S_i – затраты предприятия на резервирование X_i деталей i-го наименования, руб.

Целевая функция (2) носит вероятностный характер, зависящий от первоначального числа зарезервированных X_i^* ЗПЧ и ЭМ, времени простоя ЛЗМ в случае отказа детали и, следовательно, экономических потерь предприятия от простоя ЛЗМ. В свою очередь, продолжительность простоев ЛЗМ зависит от наработки на отказ и наличия в резерве ЗПЧ и ЭМ, что определяет стохастический характер модели. Кроме того, на результат целевой функции оказывает влияние и период времени T, на который планируется резерв.

Промежутки времени между возникновениями спроса (наработками ЛЗМ до отказа детали) на зарезервированные ЗПЧ или ЭМ являются независимыми случайными величинами,

обычно имеющими одно из распределений: нормальное, логнормальное, Вейбулла и реже экспоненциальное.

В основе структуры функционирования математической модели определения величины резерва ЗПЧ и ЭМ используется дискретно-событийное имитационное моделирование, отражающее развитие модели системы во времени с использованием подхода «продвижения времени от события к событию».

Графическая интерпретация математической модели многономенклатурного резервирования запасных частей и эксплуатационных материалов приведена на рис. 2.

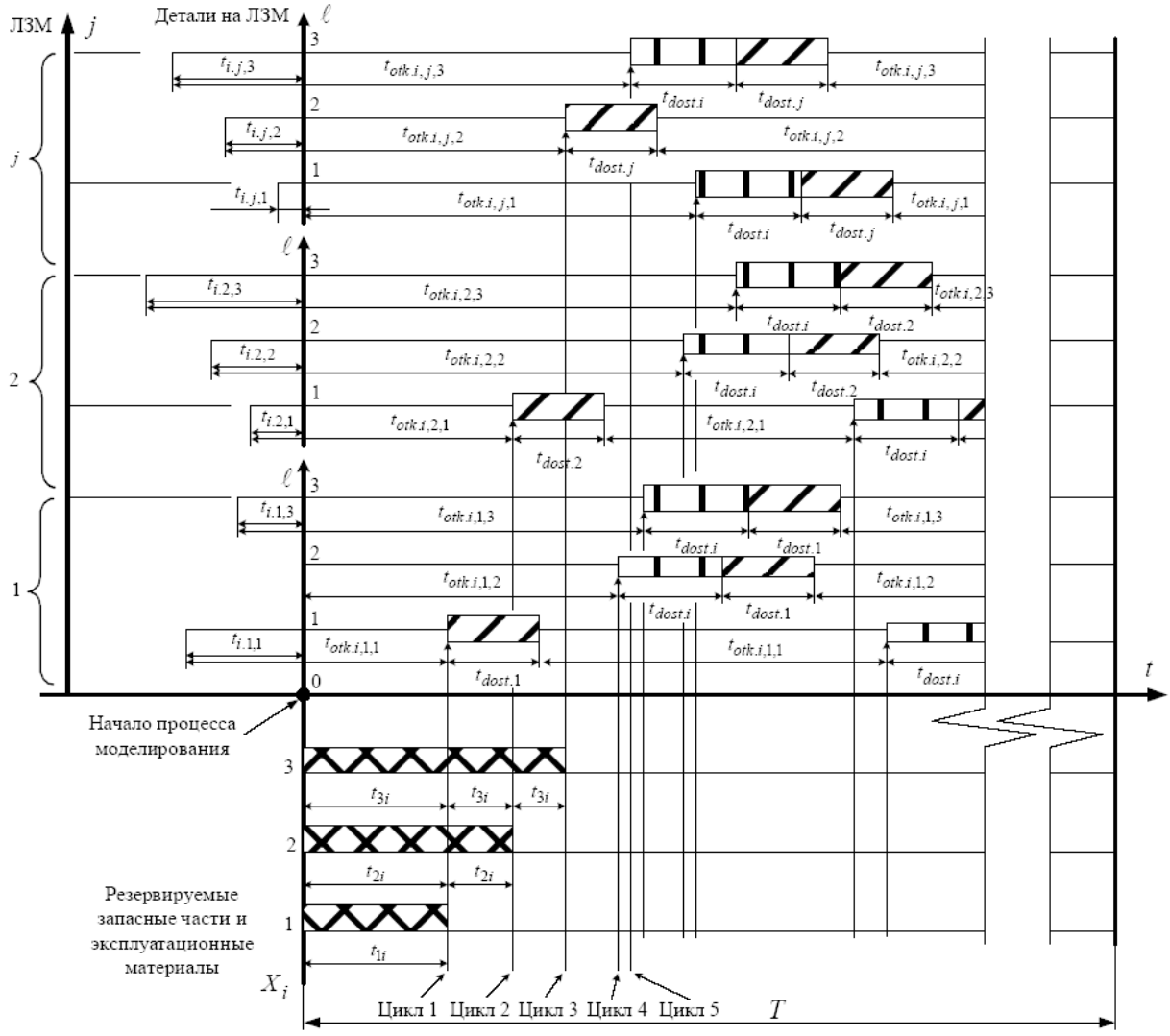


Рис. 2. Графическая интерпретация математической модели многономенклатурного резервирования ЗПЧ и ЭМ

Эффективность процесса распределения ЗПЧ по пунктам хранения можно оценить следующей функцией потерь времени при устранении отказов (общий вид):

$$T^*\left(\overline{X}_i\right) = \sum_i \min T\left(\overline{X}_i\right), \qquad (3)$$

где $\overline{X}_i$ – вектор оптимального распределения количества ЗПЧ i-х наименований, соответствующих минимуму суммарных потерь времени на устранение отказов ЛЗМ.

Вектор оптимального распределения числа ЗПЧ $\overline{X}_i$ является управляемой переменной, имеющей вид:

$$\overline{X}_i = \left\{x_1, x_2, \ldots, x_m, \ldots, x_M\right\}, \qquad (4)$$

где $x_1, \ldots, x_m, \ldots, x_M$ – количество запасных частей на каждом m-м пункте хранения, шт. $\left(m = \overline{0, M}\right)$.

Суммарные потери времени на снабжение территориально распределенных ЛЗМ при возникновении отказа за счет распределенных по

пунктам хранения ЗПЧ i-го наименования можно представить следующей целевой функцией:

$$T_{Xi} = t_{i,j} + t1_{i,m,j} + t2_i \to \min, \qquad (5)$$

где $t_{i,j}$ – затраты времени на доставку необходимой ЗПЧ i-го наименования, находящейся непосредственно на месте эксплуатации j-й ЛЗМ, час; $t1_{i,m,j}$ – затраты времени на доставку необходимой ЗПЧ i-го наименования, находящейся на ближайшем пункте хранения m, до j-й ЛЗМ, у которой произошел отказ, час; $t2_i$ – затраты времени на доставку требуемой i-й ЗПЧ из внешнего источника, час.

В основе структуры функционирования математической модели определения количества резервируемых ЗПЧ на каждом пункте хранения m используется дискретно-событийное имитационное моделирование, отражающее развитие модели системы во времени с использованием подхода «продвижения времени от события к событию».

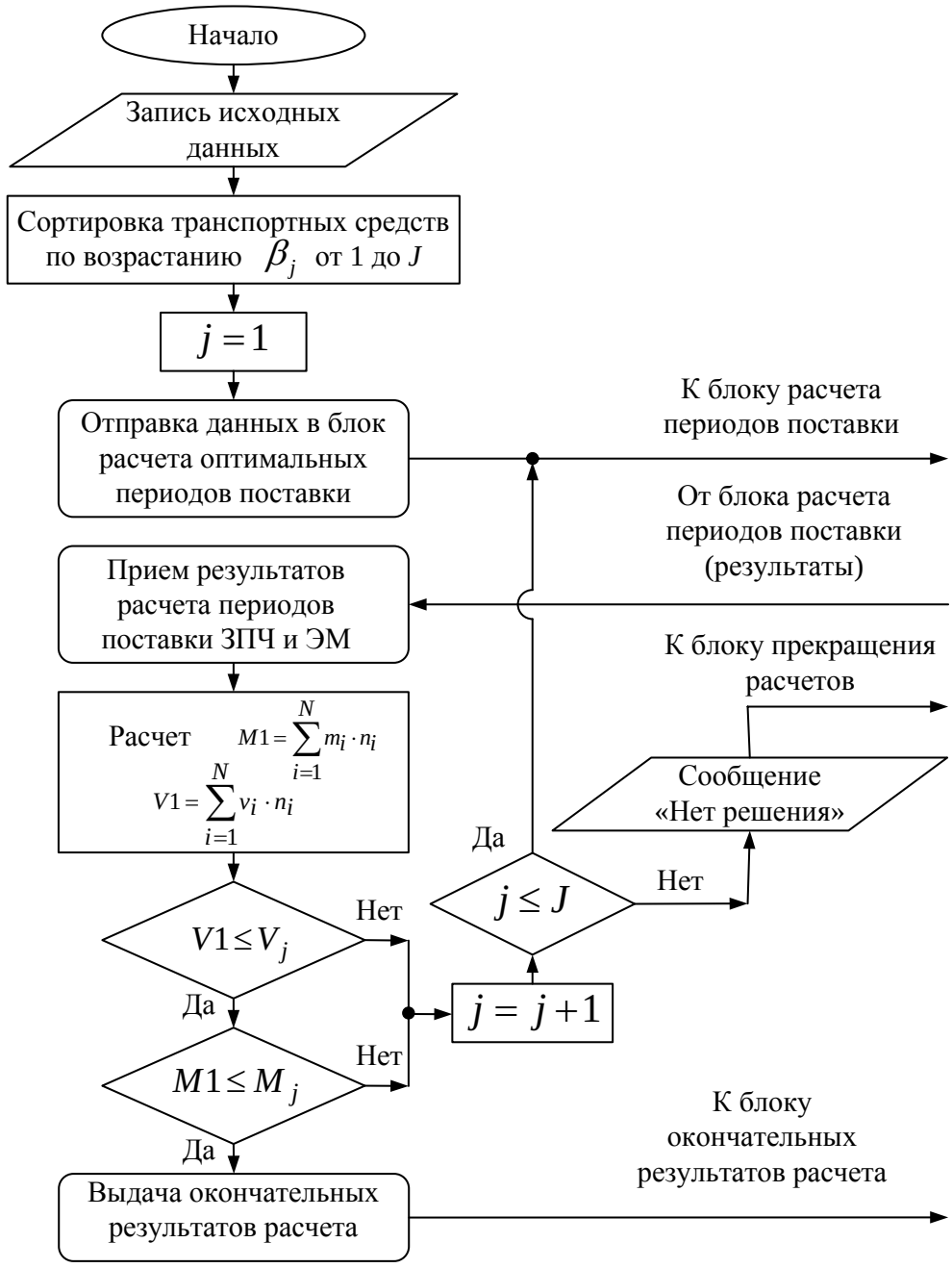


Рис. 3. Алгоритм поиска оптимального транспортного средства для доставки многономенклатурного комплекта ЗПЧ и ЭМ

Применение имитационного моделирования исключает возможность аналитического решения задачи классическими методами дифференциального и вариационного исчисления. Следует заметить, что целевая функция (3) может иметь множество экстремумов и вектор управляемых переменных может принимать только дискретные значения. При возможности существования множества экстремумов существует необходимость поиска глобального экстремума, который реализуется методом случайного поиска.

Эффективность процесса поставки многономенклатурного резерва ЗПЧ и ЭМ можно представить целевой функцией следующего вида:

$$L = \frac{1}{2} \cdot T \cdot \sum_{i=1}^{n} \mu_i \cdot s_i \cdot k_i + \frac{g \cdot \beta_j}{T} \left(\gamma \cdot \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{k_i} + 1 \right) \to \min, \quad (6)$$

где L – суммарные затраты в единицу времени на обеспечение снабжения лесозаготовительного предприятия многономенклатурным резервом ЗПЧ и ЭМ по системе кратных периодов, руб.; T – периодичность осуществления поставок, мес.; n – число одновременно поставляемых от поставщика ЗПЧ и ЭМ i-го наименования $\left(n = \overline{1, N}\right)$; μ_i – средний спрос за месяц, шт./мес.; s_i – цена хранения в течение месяца, руб./мес.; k_i – кратность включения в комплект поставки ЗПЧ или ЭМ i-го наименования (k = 1, 2, …); g – стоимость поставки ЗПЧ и ЭМ (постоянная составляющая затрат на организацию поставки), руб.; γ – коэффициент увеличения стоимости поставки ЗПЧ и ЭМ в зависимости от их числа при поставке, шт.$^{-1}$; β_j – доля дополнительных затрат при поставке ЗПЧ и ЭМ в зависимости от используемого j-го вида транспортного средства доставки $\left(\mathrm{j} = \overline{1, \mathrm{J}}\right)$. При решении задачи необходимо определить оптимальный период поставки T и произвести распределение всех наименований ЗПЧ и ЭМ на множество групп поставок n, чтобы сумма затрат на обеспечение снабжения L была минимальной.

Средний спрос (потребность) на ЗПЧ или ЭМ i-го наименования μ_i определяется по статистическим данным наблюдений или по результатам расчетов математической модели многономенклатурного резервирования ЗПЧ и ЭМ.

Количество ЗПЧ или ЭМ при каждой поставке рассчитывается после определения оптимальных периодов поставки многономенклатурных комплектов ЗПЧ и ЭМ по следующему выражению:

$$n_i = \mu_i \cdot T_i, \quad (7)$$

где T_i – оптимальный период поставки i-го наименования ЗПЧ или ЭМ.

Для выбора транспортного средства необходимо определить вес и объем комплекта поставляемых ЗПЧ и ЭМ и определить транспортное средство, исходя из следующих условий:

$$\sum_{i=1}^{N} m_i \cdot n_i \le M_j, \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{N} v_i \cdot n_i \le V_j, \quad (9)$$

где m_i – вес i-го наименования ЗПЧ или ЭМ, кг; M_j – грузоподъемность j-го транспортного средства, используемого для поставок, кг; v_i – физический объем i-го наименования ЗПЧ или ЭМ, м^3; V_j – вместимость j-го транспортного средства, используемого для поставок, м^3.

Согласно условиям (8) и (9), необходимо выбрать из имеющегося парка транспортное средство с конкретными характеристиками M_j, V_j и β_j.

Графическая схема алгоритма выбора оптимального транспортного средства доставки приведена на рис. 3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шиловский В. Н., Гольштейн Г. Ю., Саливоник А. В. К вопросу управления эксплуатационной эффективностью лесозаготовительных машин // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2002. № 1 (март). С. 114–116.

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

САДКОВОЕ РЫБОВОДСТВО:
ТЕХНОЛОГИЯ ВЫРАЩИВАНИЯ, КОРМЛЕНИЕ РЫБ И СОХРАНЕНИЕ ИХ ЗДОРОВЬЯ

13–17 октября 2008 года
Петрозаводский государственный университет

Лаборатория «Экологические проблемы Севера» Петрозаводского государственного университета проводит международную научно-практическую конференцию «Садковое рыбоводство: технология выращивания, кормление рыб и сохранение их здоровья». Председатель оргкомитета – профессор, доктор биологических наук Л. П. Рыжков, ответственный секретарь конференции – доцент, кандидат биологических наук И. М. Дзюбук

Контактная информация:
Петрозаводский государственный университет
Лаборатория «Экологические проблемы Севера»

185910, Республика Карелия,
г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33. Тел. (8142) 78-17-41
E-mail: RLP@petrsu.karelia.ru

ХРОНИКА

■ 24 июня 2008 года в Петрозаводском государственном университете прошел международный семинар «Влияние технологий лесосечных работ на эксплуатационные затраты, безопасность и производительность труда, лесную среду и качество лесоматериалов в лесозаготовительных компаниях Республики Карелия».

В семинаре, который был организован лесоинженерным факультетом ПетрГУ совместно с Институтом леса Финляндии, приняли участие представители Министерства лесного комплекса Республики Карелия, руководство, ученые и преподаватели Петрозаводского государственного университета, ученые Института леса Финляндии, представители предприятий лесного комплекса Республики Карелия и других заинтересованных организаций.

В ходе семинара на суд присутствующих были представлены результаты международного научно-исследовательского проекта, в течение двух лет выполнявшегося учеными лесоинженерного факультета ПетрГУ совместно с их финскими коллегами. Проект финансировался Европейским союзом в рамках программы TACIS и был посвящен сравнению различных технологий лесосечных работ, широко применяющихся сегодня лесозаготовителями Республики Карелия и России в целом.

В ходе проекта был выполнен большой объем полевых исследований, которые проводились на базе 15 лесозаготовительных предприятий Республики Карелия. Кроме того, были проведены опросы специалистов и персонала этих предприятий по широкому кругу вопросов, связанных с совершенствованием применяемых ими техники и технологий.

Сравнение технологий выполнялось по четырем направлениям: во-первых, определялась экономическая эффективность, во-вторых, – мера негативного воздействия на лесную среду и на сроки лесовозобновления, в-третьих, оценивались условия, тяжесть и безопасность труда персонала, занятого в рассматриваемых технологиях, и, наконец, в-четвертых, сравнивалось качество продукции, получаемой в результате применения той или иной технологии.

Были рассмотрены следующие основные технологии: а) механизированная с заготовкой деревьев (вальщик → трелевочный трактор → сучкорезная машина); б) машинизированная с заготовкой деревьев (валочно-пакетирующая машина → колесный скиддер → процессор); в) механизированная хлыстовая (вальщик → обрезчик или обрубщик сучьев → трелевочный трактор); г) механизированная сортиментная (вальщик → форвардер); д) машинизированная сортиментная (харвестер → форвардер).

Экономическая эффективность оценивалась путем соотнесения показателей производительности и величины затрат. При этом определялись такие основные показатели, как выработка на машиносмену по системе машин, часовая производительность по отдельным машинам и прямые эксплуатационные затраты. Источниками для определения названных показателей стали экономическая отчетная документация и данные оперативного учета фактических затрат, существующие сводные отчеты, цены на приобретаемые ресурсы в рассматриваемые периоды, нормативы затрат ресурсов, расценки на выполнение работ, фотохронометражные наблюдения, проведенные как специалистами исследуемых предприятий, так и исполнителями проекта в ходе полевых работ, и иные документы.

Интересные результаты были получены в ходе анализа динамики изменения затрат в зависимости от возможных источников финансирования перехода на новые технологии лесосечных работ. Анализ базировался на данных, полученных в ходе исследований.

Оценка воздействия технологических процессов на лесную среду выполнялась по двум направлениям: а) оценка повреждений почвогрунтов в разрезе влияния измененных почвогрунтов на эффективность лесовозобновления; б) оценка степени повреждения остающихся деревьев (подроста, молодняка и т. п.).

В качестве показателей воздействия лесосечных технологий на почвогрунты рассматривались: снижение пористости на технологических коридорах; средняя глубина колеи; степень минерализации верхнего почвенного слоя.

По второму направлению на лесосеках осматривались и подсчитывались деревья с повреждениями. К поврежденным относились деревья с обломом вершины (ствола), с наклоном 10 градусов и более, с ошмыгом кроны 1/3 и более, с обдиром коры 10 % и более окружности ствола, с обдиром и обрывом скелетных корней.

В последние годы повышенное внимание уделяется созданию комфортных и безопасных условий труда персонала на лесосечных работах. Только выполнение этих условий позволит сделать труд лесозаготовителей более привлекательным и обеспечит приток молодых кадров. В выполненной работе была предпринята попытка определения общего суммарного негативного воздействия на работающих в разных технологиях. Оценка выполнялась по двум направлениям.

Во-первых, производились измерения большого количества параметров рабочих мест, органов управления и т. п. применяемых машин и инстру-

мента (размеров, усилий, ходов, вибрации, шума, времени нахождения в неудобных позах и т. д.). Результаты этих измерений сравнивались с нормативами, содержащимися в стандартах и рекомендациях ведущих НИИ. Определялась степень соответствия рабочих мест нормам.

Во-вторых, были выполнены опросы работающих, в ходе которых они непосредственно оценивали условия своей работы по большому числу факторов.

В результате для каждого рабочего места вычислялся обобщающий показатель – интегральная тяжесть труда, учитывающая как объективные измеренные величины влияющих факторов, так и величину субъективной реакции работающих на эти факторы.

В конечном итоге было проведено ранжирование основных систем машин по суммарному негативному воздействию неблагоприятных факторов на работающих.

Естественно, что при сравнении технологических процессов в современных условиях хозяйствования нельзя игнорировать показатели качества получаемых лесоматериалов. Эти показатели определялись путем проверки получаемых лесоматериалов на соответствие предъявляемым к ним техническим требованиям (условиям), регламентируемым стандартами и оговариваемым в контрактах.

Для оценки влияния различных технологий лесосечных работ на качество круглых лесоматериалов использовался ряд показателей качества. К ним относятся наличие механических повреждений (или дефектов), дефектов обработки, загрязнений почвой (песком, глиной и пр.), несоответствие размеров сортиментов техническим требованиям (условиям) к лесоматериалам и дополнительным требованиям к качеству лесоматериалов, установленным на том или ином заготовительном предприятии.

Полевые исследования проводились в разное время года в различных природно-производственных условиях, что позволило учесть и эти факторы в тех вопросах, где это было необходимо.

Представленные на семинаре результаты получили в целом положительную оценку присутствующих и дали старт здоровой дискуссии, по всей видимости, оказавшейся полезной для всех ее участников.

В настоящее время готовится к публикации книга, подробно отражающая полученные в ходе выполнения проекта результаты. Авторы выражают надежду, что эта книга окажется полезной для специалистов лесозаготовительных предприятий и позволит облегчить и обосновать выбор технологий лесосечных работ, подходящих для конкретных производственных условий.

А. П. Соколов,
кандидат технических наук,
доцент кафедры тяговых машин
лесоинженерного факультета ПетрГУ

■ 29 июня – 5 июля 2008 года на базе Петрозаводского государственного университета состоялась IV МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО КОМПЛЕКСНОМУ АНАЛИЗУ (председатель – профессор А. В. Воронин).

Конференция по комплексному анализу проводилась при поддержке РФФИ (проект № 08-01-06019-г) и ПетрГУ. Работа конференции проходила по следующим направлениям: геометрическая теория функций комплексного переменного; конструктивная теория функций комплексного переменного, вопросы граничного поведения; приложения анализа в математике и физике. В ходе работы конференции были освещены актуальные проблемы теории функций одного и многих переменных, в докладах представлены решения нескольких известных проблем, сформулирован ряд гипотез. В конференции приняли участие: А. М. Седлецкий (г. Москва), Е. С. Половинкин (г. Москва), Н. А. Широков (г. Санкт-Петербург), С. К. Водопьянов (г. Новосибирск), С. Р. Насыров (г. Казань, Татарстан), Ю. Б. Зелинский (г. Киев, Украина), M. Dorff (Provo, USA), R. Aulaskari (Joensuu, Finland), M. Novak (Lublin, Poland), В. П. Захарюта (Istanbul, Turkey).

По итогам работы опубликованы материалы конференции.

■ 25 августа – 3 сентября 2008 года на базе Петрозаводского государственного университета прошли МЕЖДУНАРОДНЫЕ ЛЕТНИЕ СБОРЫ студентов ПО ПРОГРАММИРОВАНИЮ.

Цель сборов – подготовка сильнейших команд для участия в олимпиадах в 2008/2009 учебном году.

В программе сборов были тренировочные соревнования, разборы задач, тематические олимпиады по различным разделам олимпиадных задач. Всего в сборах приняли участие 32 команды, 110 участников. Большинство команд-участниц – сильнейшие команды России, представители таких университетов, как Санкт-Петербургский университет ИТМО, Санкт-Петербургский государственный университет, Московский государственный университет, МФТИ. Также представлены команды из Казахстана, Белоруссии, Японии и Финляндии. В сборах приняли участие профессор Университета Baylor (США) Билл Паучер, исполнительный директор командного чемпионата мира по программи-

рованию ICPC (International Collegiate Programming Contest) и профессор Майкл Донахью. С 1977 года чемпионат ежегодно проводится международной организацией ACM (Association for Computer Machinery). Начиная с 1993 года в чемпионате мира участвуют и российские вузы. За последние десять лет студенты из России пять раз поднимались на высшую ступень пьедестала турнира ACM ICPC. Профессор Б. Паучер вручил бронзовые медали команде «Wx» в составе И. Николаевского, А. Николаевского и Д. Денисова, студентам 3-го и 4-го курсов математического факультета нашего университета, финалистам Чемпионата мира ACM ICPC, который проходил в 2007 году в Токио. По словам исполнительного директора командного чемпионата мира по программированию, участие в таких соревнованиях – это большой вклад в самообразование, а также мощный энергетический толчок для дальнейших исследований. Профессор Б. Паучер и профессор М. Донахью отметили высокий уровень организации и проведения, а также уникальность международных сборов программистов в Петрозаводске.

■ 22–26 сентября 2008 года в туристическом центре д. Александровка проходила VIII Международная научно-техническая конференция «Новые информационные технологии в целлюлозно-бумажной промышленности и энергетике» (сопредседатель оргкомитета конференции – профессор А. В. Воронин).

Организаторами конференции выступили Петрозаводский государственный университет, АО «Метсо Автоматизация» (Финляндия), ОАО «Архангельский ЦБК», три предприятия из Республики Карелия: ОАО «Кондопога», ОАО «Сегежский ЦБК», ЗАО «Петрозаводскмаш» и НПФ «Ракурс» из Санкт-Петербурга.

В работе конференции приняли участие 100 специалистов по автоматизации и новым информационным технологиям, представители 13 крупнейших целлюлозно-бумажных предприятий России и Белоруссии, 11 специализированных отраслевых организаций, а также Петрозаводского государственного университета.

Участникам конференции было представлено 8 пленарных, 9 секционных и 20 стендовых докладов, в которых обсуждался широкий круг проблем, связанных с применением информационных технологий, автоматизацией управления технологическими процессами, производствами и предприятиями отрасли. Рассмотрены вопросы обоснования, разработки и внедрения АСУ ТП, интегрированных систем управления предприятиями, автоматизированных информационных систем, создания компьютерных сетей и автоматизированных рабочих мест, использования различных подходов, моделей и методов в планировании и управлении производством.

От имени организаторов конференции с краткими сообщениями и приветствиями выступили сопредседатели оргкомитета конференции ректор ПетрГУ, профессор, д. т. н. А. В. Воронин и президент АО «Метсо Автоматизация», Почетный доктор ПетрГУ Т. Лааксонен.

По мнению многих участников, конференция прошла на высоком организационном уровне. Следующая, девятая, Международная научно-техническая конференция «Новые информационные технологии в ЦБП и энергетике» будет проводиться в сентябре 2010 года в Петрозаводске.

13 октября 2008 года исполняется 70 лет декану медицинского факультета Петрозаводского государственного университета, доктору медицинских наук, профессору *Юрию Васильевичу Лупандину.*

ЮРИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ ЛУПАНДИН
К 70-летию со дня рождения

Юрий Васильевич родился в г. Сталинск (Новокузнецк). После окончания Хабаровского медицинского института работал врачом на Дальнем Востоке. В 1964 году он переехал в Петрозаводск. Учась в заочной аспирантуре и занимаясь научной работой под руководством профессора Г. Н. Сорохтина, Ю. В. Лупандин работал врачом медсанчасти ОТЗ, инспектором горздравотдела. С 1966 года Юрий Васильевич работает в ПетрГУ, где прошел путь от ассистента и научного сотрудника до доктора медицинских наук (1983), профессора (1984), заведующего кафедрой физиологии человека и животных, декана медицинского факультета. В течение двадцати лет Юрий Васильевич успешно руководит медицинским факультетом. Требовательный и умелый организатор, он достойно провел медфак через непростые годы реформ. Факультет открыл новые специальности, расширилась география абитуриентов, открыт диссертационный совет по защите докторских диссертаций.

Имя Ю. В. Лупандина широко известно в России и за рубежом. Результаты его научной деятельности отражены более чем в 200 работах, в том числе в 40 статьях в академических и иностранных журналах. Юрий Васильевич соавтор нескольких российских учебников по физиологии и научных монографий, среди которых следует отметить учебник для вузов под ред. А. Д. Ноздревича «Начала физиологии» (СПб.: Изд-во «Лань», 2002), учебное пособие «Двигательная система человека» (Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2006). Научные интересы Ю. В. Лупандина связаны с нейрофизиологией и терморегуляцией, причем он нашел совершенно особый аспект в этих разделах физиологии, объединил их с проблемами двигательной системы и в результате создал концепцию, которая вполне может быть названа «теорией о едином терморегуляционно-позном тонусе мышц». На основе этой теории под руководством Ю. В. Лупандина защищено 14 кандидатских и 2 докторские диссертации, сформировалась большая научная школа, которая восходит к школе нейрофизиологии В. В. Правдич-Неминского и является ее продолжением.

Профессор Ю. В. Лупандин активно участвует в работе российских и международных физиологических обществ, совета деканов медицинских факультетов, избран членом-корреспондентом РАЕН. Он один из основателей и редакторов журнала «Barents Newsletters on Occupational Safety and Health».

Юрий Васильевич – замечательный муж, заботливый отец и дедушка.

От души поздравляем Юрия Васильевича с юбилеем, желаем ему здоровья, дальнейших успехов в науке, педагогической и общественной деятельности, а медицинскому факультету – новых свершений!

Редакция журнала «Ученые записки Петрозаводского государственного университета»

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 допускается, 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

ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

Medevedev P. P.
THE ARCHITECTURE OF KARELIAN PRILADOZHYE AT THE END OF XIX – EARLY XX CENTURIES (part two)
Summary: The article is devoted to the research of the morphology of traditional architectural-spatial systems and the objects of people's architecture of Karelian Priladozhye – one of a specific historical-architectural subregions of the Russian North, embracing the lands of Lahdenpohja, Sortavala, and Pitkyaranta districts of the Republic of Karelia.
Key words: the Russian North, Российский Север, Karelian Priladozhye, morphology, traditional architectural-spatial systems and the objects, people's architecture **7**

Rochev A. A.
THE ALGORITHM FOR THE ARCHED CONSTRUCTION CALCULATION OF THE CONSTITUENT NON-ELASTIC ELEMENTS
Summary: The article deals with a calculation algorithm, which allows to conduct the calculation of the deformation and the stability of the arch of an operating limit of elasticity of the material. The calculation is carried out with the use of equivalent stiffness of the cross-section, considering the influence of shear deformation. The algorithm for the calculation takes into account non-linear geometry and physical effects arising in the arch when under load.
Key words: arched construction, equivalent stiffness of the cross section, deformation calculation, constituent non-elastic element **13**

Ushakova L. M.
MODERN STATE OF THE OBJECT-SPACE ENVIRONMENT IN A NURSERY SCHOOL PLOT
Summary: The modern state of the object-space environment in a nursery school plot is analyzed in the article. The demands for planning territory, functional elements of the plot and their interrelationship, building up children's playgrounds, and the play equipment are defined.
Key words: Nursery school plot, object-space environment, playgrounds, the play equipment **16**

BIOLOGY

Artemyev A. V.
THE POPULATION ECOLOGY OF THE GREAT TIT *PARUS MAJOR* IN TAIGA FOREST OF KARELIA (part two)
Summary: The population ecology of Great Tit in Karelia, based on the research held in 1979–2004 described in the article in detail. The data on the structure of nesting population, biology of nesting and dynamics of total bird number are rendered. The distinct differences between the investigated population and those of Central and Western Europe were discovered.
The differences are caused by density-dependent mechanisms of number regulation, the level of weather influence on birds and some other parameters. The impact factors on the dynamics of the population were revealed.
Key words: Great tit, *Parus major*, taiga forest, density of population, biology of nesting, mechanisms of number regulation **21**

Zavodovsky P. G.
APHYLLOPHORID FUNGI IN FOREST ECOSYSTEMS OF VODLOZERYA
Summary: In wood forest ecosystems Vodlozerye biodiversity aphyllophoroid fungi is studied. The data on aphyllophoroid fungi attraction to wood substratum are presented. The laws of similarity and distinction reveal the biodiversity of aphyllophoroid fungi in continental and island wood forest ecosystems.
Key words: aphyllophoroid fungi, forest ecosystems Vodlozeria, a substratum, type of decay **30**

Korzunina A. A., Markovskaja E. F.
OSMOTALITY AS THE FACTOR OF ADAPTATION EELGRASS (*ZOSTERA MARINA* L.) TO THE HABITAT CONDITIONS
Summary: The influence of conditions of growth on size of osmotic potential (osmotality) of cells of a leaf *Zostera marina* L., growing in Kandalaksha bay the White sea is investigated. The salinity of water in places of research varies from 12 up to 22 ‰ S. The range of values of osmotic potential in these conditions has made 14–34 kPa. The increase in osmotic potential with increase in salinity of water has been shown. The role of osmotic potential in adaptation *Zostera marina* L. to conditions of growth in conditions intertidal is discussed.
Key words: osmotic potential, salinity, *Zostera marina* L. **40**

Korosov A.V., Eleckhova N. S.
GIS-DESIGNING OF THE ECOLOGICAL ROUTES
Summary: The criteria of the tourist interest to the territory and technology of the semiautomatic designing ecological routes are discussed. It is offered the objective features of terrain attraction (the biodiversity, landscape, monuments, etc.) to transform in «indexes to desirability» for each tourist group. Then estimations of the attraction for each unit of the territory (per ha) are generalized. The map of tourist priority is built on this base. This map is used for laying routes on the most interesting places for each tourist groups. The northern part of the Klimeckiy island was investigated.
Key words: ecological route, ecological tourism, criteria of the interest to territory, biodiversity, monuments of the nature, objects of the cultural heritage, index to desirability, estimation to relative importance, information landscape, GIS **45**

Ryzhkov L. P., Dzyubuk I. M.
WHITE SEA – A RESERVE OF THE DEVELOPMENT OF AKVAKULITURA IN KARELIA
Summary: Possibility of the use are discussed in article for development Akvakulitura in Karelia never use fresh reservoir and mainly water resource White epidemic deathes. For organization fish tank Akvakulitura on White sea is offered 3-h stage zonal system of its operation. The Offered complex action directed on conservation natural quality water ambience, used in tanks fish-breeding.
Key words: akvakulitura, fish-breeding, fish tank, White sea, zonal system, selection-genetic centre, nursery, landing material, uterine herd **53**

Yakimova A. E.
REPRODUCTION OF *CLETHRIONOMYS GLAREOLUS SHREB.* IN KARELIA
Summary: The period, dynamics and peculiarities of reproduction of bank vole inhabiting at the limit of its range in Karelia were considered.
Key words: bank vole, reproduction, age group **59**

AGRICULTURE

Novozhilova O. A., Leri N. A., Bolgov A. E., Makarova V. E.
EFFICIENCY OF SHUNGITE`S USING IN DIETS OF BROILERS
Summary: The unique Karelian natural mineral shungite is widely used in the industry, metallurgy, building, medicine. There were some attempts to use shungite as additives are known at feeding of animals, however scientific bases of its application in animal industries, in particular in poultry farming, are not fully developed. Meanwhile serious scientific and practical interest researches on use in feeding of broilers shungite, as source macro and microcells represent, preventive maintenance means mycotoxicosis (fungoid illnesses) and «fodder» stresses, the carrier sorption properties, as toning up, possessing antihistamine effect, the factor.
Key words: shungite, mixed fodder (forage mixture), «fodder» stress, diet, grinding fraction, norm of feeding, daily average gain **65**

PHYSICS

Repnikova E. A., Lepikhina E. V.
INVESTIGATION OF THE BIOGENETIC APATITE STRUCTURE OF TEETH TISSUE OF EUROPEAN ELK
Summary: The basic of mineral component of the teeth tissue of European elk is the calcium deficient carbonated hydroxyl apatite. It was investigated by X-ray methods. The size and concentration of the pores correlate with the presence of the heavy metals in the soil and the investigate samples.
Key words: apatite, hydroxyl apatite, non-stexyometric, pores, crystal structure, teeth tissue **69**

ENGINEERING

Koibin A. V.
LONGITUDINAL VIBRATIONS IN TWO-LAYER CORE WITH DRY FRICTION BETWEEN THE LAYERS
Summary: In the article the task about the compelled longitudinal fluctuations in compound core under influence of harmonious efforts and presence of dry friction are surveyed.
Key words: longitudinal vibrations, core, friction **79**

Kolesnikov G. N., Kuvschinov D. A.
NUMERICAL MODELING OF SEMICOERCIVE INTERACTION OF A PANTOGRAPH AND CATENARY AT HIGH SPEED OF ELECTRIC LOCOMOTIVE
Summary: The technique of numerical modeling of a complex «contact network – pantograph of an electric locomotive» as mechanical system with semicoercive interaction of elements is considered. For modeling such interaction the ties «only compression» are used. As examples the change of force of contact interaction depending on a speed of an electric locomotive are considered.
Key words: numerical modeling, mechanical system, contact interaction **83**

Syunev V. S., Konovalov A. P., Seliverstov A. A.
COMPARISON OF EFFICIENCY OF FOREST HARVESTING TECHNOLOGIES ON THE BASIS OF THE EXPERT ANALYSIS
Summary: This article gives a comparison of harvesting methods by the complex criterion considering quality of prepared beaded timber, productivity of systems of machines and specific direct operational costs. Researches are lead on wood harvesting companies of Republic of Karelia.
Key words: forest harvesting technology, productivity of machines, costs, wood quality, comparative estimation **89**

Shegelman I. R., Skrypnik V. I., Petukhov R. A.
ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF LOG CUTTING
Summary: The effectiveness of log cutting contributed to the shift from traditional technologies to enlarge them to cut technology. We examined the dynamics of growth log cutting in the Karelia Republic. In comparable circumstances defined performance and the technical and economic performance of the machines sets for trunk and log cutting based on technology from Russia, Belarus and companies abroad. For various sets of machines determined the annual formulation, which provides the log cutting advantage in compared with trunk cutting under comparable conditions.
Key words: log cutting, trunk log, a set of machines, productivity, technical and economic performance **94**

Shilovsky V. N., Salivonik A. V., Goldstein G. Yu.
WAYS OF INCREASING EFFECTIVENESS OF FOREIGN TIMBER MACHINERY
Summary: The article surveys the ways and methods of increasing efficiency of technical exploitation for timber machines.
Key words: logging machines, efficiency, spare parts, operating materials, reservation, optimization **104**

SCIENTIFIC INFORMATION **109**
JUBILEE **113**
INFO FOR THE AUTHORS **114**

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.