
Федеральное агентство по образованию

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

№ 2 (92). Июнь, 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 – 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.

E-mail: uchzap@mail.ru

uchzap.petrSU.ru

Редакционная коллегия серии
«Естественные и технические науки»

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

Редакционный совет

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

Federal Educational Agency

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

N2 (92). June, 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

Hadezhda V. Rovenko – 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 address of Editor's Office

185910, Lenin Avenue, 33.

Petrozavodsk, Republic of Karelia

E-mail: uchzap@mail.ru

uchzap.petrSU.ru

Editorial Board of the Series
«Natural & Engineering Sciences»

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

Editorial Council

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

СОДЕРЖАНИЕ

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

<i>Медведев П. П.</i>	
Архитектура Карельского Приладожья конца XIX – первой трети XX века (1 часть).....	7
<i>Косенков А. Ю.</i>	
Часовни климовских карел	15
<i>Рочев А. А.</i>	
Алгоритм расчета рамной конструкции из составных упругопластических элементов	27

БИОЛОГИЯ

<i>Артемьев А. В.</i>	
Популяционная экология большой синицы <i>Parus major</i> в таежных лесах Карелии (1 часть)	31
<i>Борисова А. Г., Суханова Г. А., Рожков С. П., Горюнов А. С.</i>	
Влияние дегидроабиетиневой кислоты на термоиндуцированные структурные переходы мембран клеток крови	44
<i>Кищенко И. Т., Потапова М. Н.</i>	
Сезонный рост побегов представителей рода <i>ACER</i> (<i>ACERACEAE</i>) в условиях интродукции	52
<i>Коросов А. В.</i>	
Системы и экосистемы	58
<i>Моисеева В. П., Моисеева Е. А., Калинкина Н. М.</i>	
Устойчивость рыб и водных беспозвоночных к действию сточных вод сульфат-целлюлозного производства в связи с их экологическими особенностями	68

СЕЛЬСКОЕ И ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>Кондратюк Е. А.</i>	
Развитие малых форм хозяйствования в аграрном производстве Республики Карелия	73

<i>Гаврилова О. И., Тришкин М. Н., Соколов А. И., Цыпук А. М., Юрьева А. Л.</i>	
Опыт реконструкции лиственных малощенных молодняков без обработки почвы в условиях южной Карелии.....	75
<i>Царев А. П.</i>	
Апробация методов оценки популяционного разнообразия в естественных насаждениях сосны обыкновенной	79
<i>Тришкин М. Н., Рёнберг И., Гаврилова О. И., Горбунова В. Н.</i>	
Исследование зараженности лесов Карелии грибом <i>HETEROBASIDION SPP</i>	86

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Родионов А. В.</i>	
Моделирование нагруженности лесохозяйственной машины в условиях нераскорчеванных вырубок	91
<i>Шегельман И. Р., Скрыпник В. И., Галактионов О. Н.</i>	
Анализ состояния и перспективы внедрения современной техники и технологии лесосечных работ	98
<i>Янюк Ю. В.</i>	
Выбор и настройка параметров для эффективного управления процессом сушки измельченной древесины при изготовлении древесно-стружечных плит	105

Научная информация	109
Информация для авторов	112
Contents.....	113

Редактор Н. Э. Фаликоваа. Переводчик Е. И. Соколова. Дизайн, верстка И. Г. Лежнев.

Подписано в печать 11.06.2008. Формат 60х90 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
10 уч.-изд. л. Тираж 500 экз. Изд. № 148

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

УДК 72.03(470.22):691.11

ПАВЕЛ ПЕТРОВИЧ МЕДВЕДЕВкандидат архитектуры, доцент кафедры систем автоматизированного проектирования строительного факультета
ПетрГУ*pmedvedev@psu.karelia.ru***АРХИТЕКТУРА КАРЕЛЬСКОГО ПРИЛАДОЖЬЯ
КОНЦА XIX – ПЕРВОЙ ТРЕТИ XX ВЕКА***

Статья посвящена исследованию морфологии традиционных архитектурно-пространственных систем и объектов народного зодчества Карельского Приладожья – одного из специфических историко-архитектурных субрегионов Российского Севера, территориально охватывающего земли Лахденпохского, Сортавальского и Питкярантского районов Республики Карелия.

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

Карельское Приладожье – специфический историко-архитектурный субрегион Российского Севера, сформировавшийся под влиянием сложного комплекса своеобразных природно-климатических, социально-экономических, исторических и этнокультурных факторов. К такому предварительному выводу пришли специалисты кафедры «Систем автоматизированного проектирования» (САПР) Петрозаводского государственного университета (ПетрГУ), анализируя натурные материалы, собранные еще в 1993 году в процессе работы Комплексной эколого-архитектурной экспедиции, проведенной в рамках Региональной научно-технической программы «Приграничная Карелия» и обследовавшей 11 сельских поселений, 45 традиционных крестьянских усадеб и 101 жилищно-хозяйственную постройку в границах Лахденпохского и Питкярантского районов и на территории, административно подчиненной городу Сортавала [1].

Камеральная обработка натурных материалов позволила установить ряд специфических особен-

ностей в расселенческой системе и в планировке традиционных сельских поселений Карельского Приладожья, отличающих этот субрегион от ранее обследованных в 1979–1992 годах территорий Беломорского Поморья, Архангельского Поонежья, Каргополья, Примошья, Поважья и Восточного Обонежья [2, 10, 11, 12, 13] (рис. 1).

В 1997 году с целью сбора натурных данных к инвентаризации бывших культурных ландшафтов и памятников истории Карельского Приладожья под эгидой Центра окружающей среды Финляндии и при участии ученых из ПетрГУ и Карельского научного центра РАН была проведена Международная финско-российская комплексная архитектурно-ландшафтная экспедиция, благодаря которой в орбиту исследований удалось включить еще 40 традиционных объектов народного зодчества [2, 3]. На основании результатов предметно-содержательного анализа накопленной историко-архитектурной информации специалистами кафедры САПР ПетрГУ в рамках международной программы «Ресурсы Интернет для куль-

туры, образования, здравоохранения и гражданского общества» (грант Института «Открытое общество. Фонд содействия», 1998, № IEA788w-u) была разработана Web-страница «Памятники архитектуры Карельского Приладожья» (адрес страницы: www.soros.karelia.ru/projects/1998/ladoga/index.html).



Рис.1. Картограмма территорий историко-архитектурных субрегионов Российского Севера, обследованных историко-архитектурными экспедициями ПетрГУ за период 1979–2006 годов

Далее, в 1998–2006 годах по территории Карельского Приладожья и смежных историко-архитектурных субрегионов было проведено девять историко-архитектурных экспедиций: две под эгидой Центра окружающей среды Финляндии (2003–2004 гг.) и семь при участии специалистов кафедры САПР ПетрГУ, благодаря финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда (гранты РГНФ № 01-04-49004а/с, № 03-04-00352а/с, № 03-04-12008в и № 06-04-42401а/С), Российского фонда фундаментальных исследований (гранты РФФИ № 98-06-80364 и № 03-06-80210) и Федерального агентства по образованию РФ (НТП «Научные исследования высшей школы по приоритет-

ным направлениям науки и техники, № ГР 01.200.305197) [4, 6, 7].

Параллельно специалистами кафедры САПР ПетрГУ были выполнены литературно-библиографические и атласно-картографические исследования с архивными изысканиями в фондах Сортавальского филиала Республиканского государственного центра «Недвижимость» РК (бывшего Республиканского бюро технической инвентаризации) [3]. В итоге для проведения развернутого историко-архитектурного исследования был подготовлен массив данных по 52 традиционным сельским поселениям, 142 крестьянским усадьбным комплексам, 133 жилым домам и 70 хозяйственным постройкам Карельского Приладожья, выполнен его статистическо-типологический анализ [8].

При исследовании традиционных сельских поселений Карельского Приладожья от деревни Соролы на юго-западе (Лахденпохский район) до деревни Луккулансаар (Луккулансаари) на северо-востоке (Питкярантский район) в орбиту исследования были включены их следующие архитектурно-типологические характеристики: 1) особенности социально-функционального назначения поселений с учетом преобладающего и побочного направлений хозяйственно-производственной деятельности их жителей; 2) ролевые функции поселений в социально-экономической организации субрегиональной поселенческой ткани с характеристикой дворности населенных пунктов и степени оседлости их жителей; 3) особенности планировочной организации (функционального зонирования) территории поселений с оценкой территориально-пространственной целостности внутрипоселенческой ткани; 4) особенности функциональной взаимосвязи внутрипоселенческой ткани с естественной и искусственной транспортной инфраструктурой; 5) вариативность объемно-планировочных структур населенных пунктов; 6) вариативность форм пятна застройки поселений; 7) композиционные особенности взаимодействия пятна поселенческой застройки с естественными и искусственными структурообразующими элементами; 8) приемы архитектурно-композиционной акцентировки жилой застройки поселений; 9) специфика взаимодействия внутрипоселенческой ткани с окружающим природным ландшафтом; 10) особенности внешнего и внутреннего зрительного восприятия поселенческой застройки [6].

В процессе предметно-содержательного и разведочного анализов путем построения одно- и двумерных вариационных таблиц удалось установить бытование на территории Карельского Приладожья традиционных сельских поселений, дифференцирующихся: 1) на 3 классовых варианта по преобладающему направлению хозяйственно-производственной деятельности жителей (населенные пункты с животноводческо-земледельческой специализацией, культовые поселения

и населенные пункты переходного типа – соответственно 63,46; 1,92 и 34,62 %); 2) на 3 подкласса по ролевой функции населенных пунктов в социально-экономической организации субрегиональной поселенческой ткани (деревни, погосто-места и поселки – соответственно 73,08; 1,92 и 25,00 %) с 5 вариантами, учитывающими дворность поселений (однодворные, малодворные, средней и повышенной дворности, а также поселения переходного варианта – соответственно 1,96; 35,29; 33,33; 1,96 и 27,45 %), с 4 подвариантами, учитывающими степень оседлости населения (круглогодично-обитаемые, смешанные с незначительным или большим количеством сезонно-обитаемых дворов, а также утраченные – соответственно 67,31; 1,92; 26,92 и 3,85 %) и с 1 вариантом первого дополнительного признака (стационарные – 100,00 %, 3) на 2 группы по функциональному зонированию территории населенных пунктов (без функционального зонирования и с функциональным зонированием – соответственно 73,08 и 26,92 %) с 3 вариантами для второй группы, учитывающими функциональное назначение и количество зон (с выделением зоны общественного центра, с выделением жилой и хозяйственной зон и с выделением зон общественного центра, жилой и хозяйственной – соответственно 28,57; 42,86 и 28,57 %) и с 4 подвариантами, учитывающими особенности территориально-пространственной целостности застройки поселений (с застройкой, расчлененной сельскохозяйственными угодьями или непригодными для земледелия участками леса и болот, а также антропогенного ландшафта в виде погостов и некрополей, с вклинившимися в застройку неземледельческими территориями, а также с нерасчлененной застройкой или смешанного подварианта – соответственно 25,53; 17,65; 33,33 и 25,49 %); 4) на 3 подгруппы по связи с естественной и искусственной транспортной инфраструктурой (приречные, придорожные и комбинированные (в том числе – приозерные) – соответственно 1,92; 9,62 и 88,46 %) с 5 вариантами, учитывающими пространственное взаиморасположение пятна жилой застройки и транспортных путей (расположенные вблизи от коммуникаций (до 1,0 км), примыкающие к коммуникациям, пересекать коммуникациями, а также с комбинацией выше упомянутых вариантов или переходного типа – соответственно 8,80; 29,60; 52,80; 0,80 и 8,80 %), и с 4 подвариантами для придорожных поселений, учитывающими типы коммуникационных систем, предназначенных для движения колесного транспорта (с поселковыми дорогами (ответвлениями или тупиками), с проселочными транзитными или с шоссейными дорогами (трактами), а также с комбинацией перечисленных подвариантов – соответственно 17,31; 40,38; 30,77 и 11,54 %); 5) на 4 типа по объемно-планировочной структуре селитьбы (со свободной, замкнутой, уличной и смешанной объемно-планировочной структурой – соответ-

ственно 42,31; 1,92; 3,85 и 51,92 %) с 3 вариантами для свободных поселений (с разбросанной, компактной и смешанной планировками – соответственно 10,87; 15,22 и 73,91 %), с 2 вариантами для рядовых поселений (с прибрежно-рядовой и с ориентацией «на лето» – соответственно 71,43 и 28,57 %), с 2 вариантами (с улично-рядовой застройкой и с уличной сетью сложной конфигурации – соответственно 70,83 и 29,17 %) и с 4 подвариантами (одно-, двух-, четырех- и пяти-уличные – соответственно 75,00; 16,67; 4,17 и 4,17 %) для уличных поселений; 6) на 7 подтипов по форме плана (бесформенные (аморфные), линейные, линейно-центричные, центрично-круговые и смешанной формы – соответственно 50,00; 25,93; 3,70; 3,70 и 16,67 %) с 1 вариантом для линейных (однолинейные – 100,00 %), с 1 вариантом для линейно-центричных (радиальные или звездообразные – 100,00 %) и с 1 вариантом для центрично-круговых поселений (подковообразные – 100,00 %), а также с 4 подвариантами, учитывающими степень кривизны форм (криволинейные, линейно-изломанные, прямолинейные и комбинированные – соответственно 81,48; 3,70; 7,41 и 7,41 %); 7) на 3 вида по композиционным особенностям архитектурно-пространственной организации внутриселенческой ткани (поселения с природно-ландшафтными и с искусственными структурообразующими элементами, а также комбинированного вида – соответственно 3,85; 11,54 и 84,62 %) с 4 вариантами для второго вида (с реками, с берегами озер, с оврагами и смешанного варианта – соответственно 36,92; 44,62; 1,54 и 16,92 %), с 4 вариантами для третьего вида (с улицами, с улицами-площадями, с дорогами, не сопровождающимися уличной застройкой, и смешанного варианта – соответственно 47,06; 3,92; 47,06 и 1,96 %), с 3 подвариантами, учитывающими характер композиционной соподчиненности застройки форме СОЭ (полностью или частично композиционно соподчиненные, а также автономные – соответственно 12,17; 57,39 и 30,43 %) и с 2 вариантами дополнительного признака, учитывающими степень регулярности застройки по отношению к СОЭ (с нерегулярной и с частично регулярной застройкой – соответственно 58,97 и 41,03 %); 8) на 3 подвида по характеру акцентировки пятна жилой застройки архитектурными доминантами (нейтральные, периферийно- и центрично-акцентированные поселения – соответственно 84,62; 11,54 и 3,85 %) с 3 вариантами, учитывающими месторасположение акцентов-доминант по отношению к границе пятна жилой застройки (вне и внутри пятна застройки, а также комбинированный вариант – соответственно 62,50; 25,00 и 12,50 %), с 4 подвариантами, учитывающими размещение доминант-акцентов по отношению к осям СОЭ и к лицевым фасадам жилых домов (с расположением акцентов в направлении главной композиционной оси поселения или структурообразующих элементов, перед фронтом и поза-

ди жилых домов, а также сбоку жилых домов – соответственно 33,33; 25,00; 12,50 и 29,17 %), с 2 вариантами первого дополнительного признака, учитывающего общее число поселенческих доминант-акцентов (с одним и с двумя акцентами – соответственно 87,50 и 12,50 %); 9) на 4 разновидности по взаимосвязи с природным ландшафтом (поселения, расположенные на равнине, на вершине или на склонах холмов-возвышенностей, а также смешанной разновидности – соответственно 15,38; 5,77; 28,85 и 50,00 %) с 4 вариантами, учитывающими крутизну поверхности существующего рельефа (на спокойном, на пересеченном или на сильно пересеченном рельефе, а также в комбинированном варианте – соответственно 23,08; 73,08; 1,92 и 1,92 %) и с 3 подвариантами, учитывающими характер взаимодействия жилой застройки с окружающим природным ландшафтом (вписывающиеся в окружающий природный ландшафт и активно преобразующие природный ландшафт с усилением его композиционных качеств, а также смешанного подварианта – соответственно 61,54; 30,77 и 7,69 %); 10) на 3 разновидности по характеру внешнего зрительного восприятия объемно-пространственной композиции жилой застройки (поселения с открытой, с замкнутой и со смешанной для внешнего зрительного восприятия композицией – соответственно 30,77; 17,31 и 51,92 %) с 5 вариантами, учитывающими широту сектора угла зрения в плане (поселения с центричным (круговым) или полукруговым восприятием, а также с линейным, с фронтальным и смешанным восприятием – соответственно 15,91; 45,45; 25,00; 9,09 и 4,54 %), с 3 подвариантами, учитывающими характер внешнего зрительного восприятия (статичные, динамичные и смешанные – соответственно 28,85; 15,38 и 55,77 %), с 2 вариантами первого дополнительного типологического признака, учитывающего характер композиционной организации внутреннего жилого пространства поселения (поселения с открытой и со смешанной композицией – соответственно 73,08 и 26,92 %) и с 2 вариантами второго дополнительного типологического признака, учитывающего характер внутреннего зрительного восприятия жилой застройки (статичные и смешанные – соответственно 23,08 и 76,92 %).

В свою очередь при исследовании традиционных крестьянских усадеб Карельского Приладожья был также проанализирован достаточно развернутый набор их архитектурно-типологических характеристик, в число которых вошли: 1) особенности социальной принадлежности и хозяйственно-бытового уклада владельцев усадебных хозяйств; 2) особенности функциональной дифференциации внутриусадебного пространства и пространственного взаиморасположения отдельных структурно-функциональных зон усадебного хозяйства; 3) вариативность объемно-пространственной структуры усадьбы;

4) вариативность элементов усадебной застройки с учетом дифференциации и кооперации протекающих (или протекавших ранее) в них процессов; 5) особенности взаиморасположения отдельных усадебных построек и вариативность их этажности; 6) особенности внутреннего зрительного восприятия отдельных структурных элементов усадеб и внешних визуальных связей усадебного комплекса с окружающим его архитектурно-природным пространством (подробнее см.: [5, 8, 9, 17]).

В итоге анализа все обследованные приладожские усадьбы образовали единый класс крестьянских хозяйств, связанных с сельскохозяйственным производством, в варианте круглогодичного обитания и в подварианте принадлежности преимущественно одному хозяину («К1/1(1)»). По общему структурно-функциональному развитию они стратифицировались на четыре подкласса. Ведущее место при этом занял подкласс усадеб с полным натуральным хозяйством («ПК1» – 70,45 %) – результат, характерный для многих историко-архитектурных субрегионов Российского Севера. Правда, относительно высоким оказался процент усадеб с элементами натурального хозяйства, выполняющих хозяйственно-производственные функции в сокращенном объеме («ПК2» – 20,45 %), что, предположительно, является следствием исторических событий двух последних войн 1939–1940 и 1941–1945 годов и последующей послевоенной разрухи [11, с. 180].

В числе характерных особенностей приладожских усадеб можно назвать аморфность их общей территории при наличии визуально выявленных усадебных границ и присутствие ярко выраженного усадебного ядра, также с аморфной территорией, но с визуально выявленными границами [8, с. 30]. В данном случае наблюдается характерная для всего Российского Севера (наличествующая как у русского, так и у карельского населения) эволюционная тенденция к уплотнению усадебной застройки, однако не приведшая в итоге к формированию широко распространенного в русско-карельской среде дома-комплекса, объединяющего под одной общей крышей или системой крыш жилые и хозяйственно-производственные части усадеб.

Судя по натурным материалам, восточная граница ареала крестьянских усадеб с автономными жилыми домами (без домов-комплексов) проходит в районе деревень Кесняселькя и Погранкондуши и совпадает со старой государственной советско-финляндской границей, существовавшей в период с 18 декабря 1917 года по 12 марта 1940 года [14, с. 227, прим. 5; 15]. Видимо, не последнюю (если не ведущую) роль в этом случае сыграл «хуторской» тип организации индивидуальных усадебных хозяйств, широко распространенный, к примеру, на территории соседней Финляндии [16]. А отсутствие строго геометрических форм в планировке уса-

дебной территории и физически выявленных с помощью заборов и оград границ сближает архитектуру приладожских усадеб с архитектурой карельских крестьянских хозяйств (особенно Северной Карелии) в отличие от более регулярного характера усадебной застройки русского населения [3, 5, 8, 9].

При изучении архитектурно-композиционных приемов застройки основной территории усадебных комплексов все обследованные приладожские усадьбы в итоге разделились на четыре типа, ведущим из которых оказался вариант усадебных хозяйств с застройкой в виде нескольких («Т2» – 94,12 %) компактно расположенных («Т2/3» – 79,17 % от усадеб типа «Т2») построек, в числе которых помимо основного жилого дома доминирующее место занимает отдельно стоящий закрытый хозяйственно-производственный двор («Т(01.2)» – 64,71 %). Примером может служить усадьба З. Ф. Пахомовой из деревни Кортела Лахденпохского района (рис. 2.1).

Автор не случайно упомянул эту усадьбу. В ней, как в капле воды, нашли отражение многие характерные особенности, свойственные приладожским «хуторским» хозяйствам. Так, в целом застройка приладожских усадеб является преимущественно свободной (бессистемной – 57,14 %) и реализована, как правило, в подвариантах пунктирного (62,50 %) или частично сблокированного (37,50 %) размещения построек. Полученное распределение является еще одной отличительной чертой приладожской территории в сравнении, к примеру, с территорией Архангельского Поонежья, на которой наблюдается преобладание усадеб с комбинированной (сочетающей параллельную, последовательную и бессистемную) застройкой.

Уточняя специфику объемно-пространственной организации внутриусадебного пространства отдельных крестьянских хозяйств Карельского Приладожья, следует сказать, что их застройка является преимущественно одноэтажной (58,14 %). Наиболее типичными являются хозяйства с одной (40,00 %) или с двумя (31,11 %) хозяйственно-бытовыми и с одной (42,22 %) или с двумя (33,33 %) животноводческими постройками. В числе первых можно назвать дровяные сараи, погреба, колодцы, бани и амбары. В числе вторых встречаются дворы-сеновалы, отдельно стоящие хлева, сенные сараи и крытые дворы.

Ранее автором уже отмечалось, что характерной особенностью приладожских усадеб является наличие в их структуре усадебных «ядер» – специфических зон с концентрацией разнофункциональных построек и сооружений при минимальной протяженности их внешних функционально-технологических связей. При исследовании особенностей функционального зонирования усадебного «ядра» ведущим подтипом крестьянских хозяйств в Карельском Приладожье оказались усадьбы с полифункциональным двором («ПТ2» – 37,78 %) (рис. 2).

Однако по численно меньшим подтипам прослеживается тенденция к функционально-пространственной дифференциации двора на «чистую» (хозяйственно-бытовую) и хозяйственно-производственную зоны («ПТЗ» – 26,67 %), в большинстве случаев выделенные лишь визуально, без физического разделения оградой («ПТЗ/1» – 66,67 %). Иллюстрацией к сказанному могут служить: усадьба Е. В. Яксиной из деревни Кортела [13, с. 108–111, рис. 1] и усадьба А. С. Кублинской, расположенная на окраине поселка Вяртсиля (рис. 2.2).

По вариативности структурных связей усадеб с окружающей природной средой карельско-приладожские крестьянские хозяйства дифференцировались на три разновидности, представленные примерно в равном количественном соотношении. В группе усадеб без выраженной лицевой стороны («Р1» – 26,67 %) ведущим является вариант с расположением жилого дома в глубине участка по отношению к основному входу на усадебную территорию и с ориентацией лицевого фасада дома в сторону, противоположную входу («Р1/1» – 75,00 %).

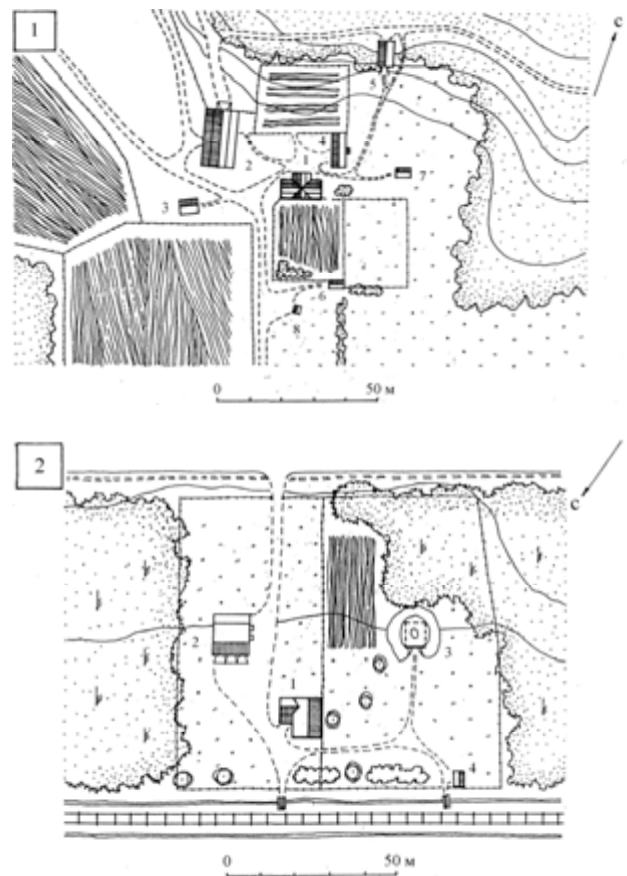


Рис. 2. Крестьянские усадьбы Карельского Приладожья

1 – усадьба З. Ф. Пахомовой, кон. XIX–нач. XX в., д. Кортела, Лахденпохский р-н; 2 – Усадьба А. С. Кублинской (бывшая усадьба машиниста Карлова, а ранее смотрителя стрелочного поста), кон. XIX–нач. XX в., п. Вяртсиля, территория, подчиненная мэрии г. Сортавала

В группе усадеб с частично выраженной лицевой стороной («Р2» – 31,11 %) преобладает вариант хозяйств с расположением жилого дома на одной стороне с входом на усадебную территорию и с боковой ориентацией лицевого фасада дома в сторону от входа («Р2/3» – 64,29 %). Наконец, в группе усадеб с явно выраженной лицевой стороной («Р3» – 42,22 %) господствуют хозяйства с расположением дома на одной стороне с входом на усадебную территорию и с ориентацией лицевого фасада дома на входную сторону («Р3/1» – 77,78 %). По данным визуального наблюдения относительное число усадебных комплексов первой и второй разновидности в Карельском Приладожье существенно выше, чем на территориях смежных историко-архитектурных субрегионов.

Вследствие бытования на приладожской территории усадеб с автономными жилыми домами значительно более разнообразным представляется набор внутриусадебных хозяйственно-бытовых и хозяйственно-производственных построек (рис. 3, 4). Помимо широко распространенных на всем Российском Севере бань и амбаров, в Карельском Приладожье было зафиксировано множество вариантов одноэтажных и двухэтажных отдельно стоящих дворов-сеновалов (которые изредка встречаются только в Северной Карелии и в Беломорском Поморье [5, 8]), а также большое количество сложных комбинированных построек, включающих скотные дворы, хлева, сеновалы, сеники, погребаледники, амбары и деревянные сараи.

Комбинированные постройки в действительности характерны только для приладожской территории и практически отсутствуют в других районах Карелии. Примером подобного типа сооружений может служить одноэтажная «Г»-образная в плане блокированная хозяйственная постройка с усадьбы А. П. Новожилова (№ 76) из поселка Реускула (территория г. Сортавала), покрытая двумя взаимно-перпендикулярными, врезанными друг в друга, двухскатными крышами (рис. 3.2). Наиболее старая «Г»-образная часть постройки состоит из двух, развернутых под углом в 90 градусов однокамерных срубных амбаров-«четырёхстенок», соединенных между собой «Г»-образным в плане дощатым сараем с каркасно-обшивными стенами. Стены амбаров рублены «в охряпку» («в собачью шею») из отесанных с двух сторон бревен, а стены сарая обшиты вертикальной доской «в разбежку». Позднее к старой части сооружения была сделана четырехстенная срубная пристройка для хранения полевого инвентаря.

Из числа обследованных животноводческих построек в первую очередь следует упомянуть об отдельно стоящем дворе-сеновале у дома № 15 из деревни Кортела Лахденпохского района (рис. 3.1). По общему объемно-планировочному и конструктивному решению он представляет собой разноэтажную срубную

постройку, включающую двухэтажный в виде «пятистенка» с продольным (относительно конька крыши) перерубом двор-сеновал под двухскатной крышей и одноэтажный хлев – «четырёхстенок» под односкатным покрытием. Стены двора-сеновала рублены «в охряпку» из отесанных с двух сторон бревен, а крыша – самцово-слеговая, с редко врубленными слегами, покрытая слоем теса и слоем толя.

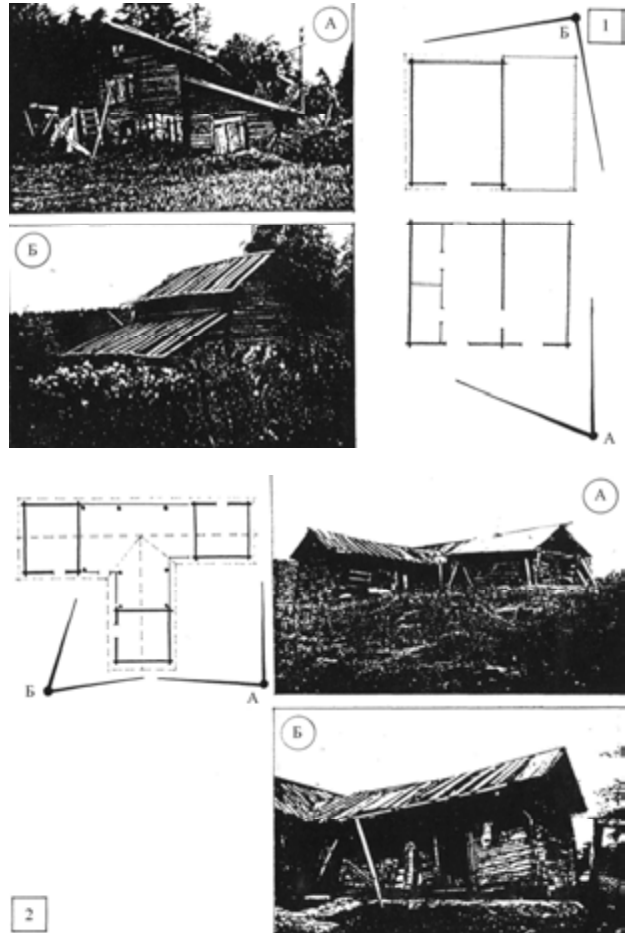


Рис. 3. Отдельно стоящие хозяйственно-производственные постройки Карельского Приладожья

1 – двор-сеновал у дома № 15, кон. XIX – нач. XX в., д. Кортела, Лахденпохский р-н; 2 – блокированная хозяйственная постройка с усадьбы А. П. Новожилова, кон. XIX – нач. XX в., п. Реускула, территория, подчиненная мэрии г. Сортавала

Другим примером является отдельно стоящий двор-сеновал у дома № 26 из деревни Мийнала Лахденпохского района, представляющий собой двухэтажную каменно-деревянную прямоугольную в плане постройку, покрытую двухскатной крышей (рис. 4.1). В ней на уровне первого этажа размещается скотный двор, а на втором этаже – сарай-сеновал, перед которым устроен взвоз из плах горбылем вверх по двум круглым наклонным балкам. Стены двора на

половину их высоты сделаны из валунов на цементно-известковом растворе, а вторая часть стен двора и стены сарая-сеновала рублены из отесанных с двух сторон бревен «в охряпку». Крыша на постройке – самцово-слеговая, со слегами, врубленными через три венца, а кровля сделана из дранки по сплошному дощатому настилу, уложенному параллельно коньку крыши.

Наконец, «эталонным» образцом может служить двор-сеновал З. Ф. Пахомовой из деревни Кортела Лахденпохского района (рис. 4.2). Он представляет собой прямоугольную в плане двухэтажную каменно-деревянную постройку, покрытую двухскатной с изломами симметричной крышей, именуемой в среде карельского и русского населения – «финской». На первом этаже постройки размещается «Г»-образный в плане скотный двор, стены которого выполнены из отесанных камней и валунов с забиркой из мелких камней на цементно-известковом растворе.

На втором этаже постройки расположен сарай-сеновал, стены которого имеют высоту в три венца и рублены из отесанных с двух сторон бревен «в прямоугольную лапу с открытым зубом». Сверху двор-сеновал покрыт стропильной крышей с дощатыми фронтонами, обшитыми вертикальными досками. Кровля на крыше первоначально была драночной по сплошному дощатому настилу, а для въезда на сарай во фронтонах устроены двухстворчатые ворота. Благодаря постановке двора-сеновала на крутом рельефе (на склоне горы), перед западными воротами имеется небольшой пандус-взвоз, сложенный из валунов и покрытый дерном, что также является специфической особенностью только приладожских дворов-сеновалов.

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, № 07-04-12127в).

* продолжение статьи в следующем номере

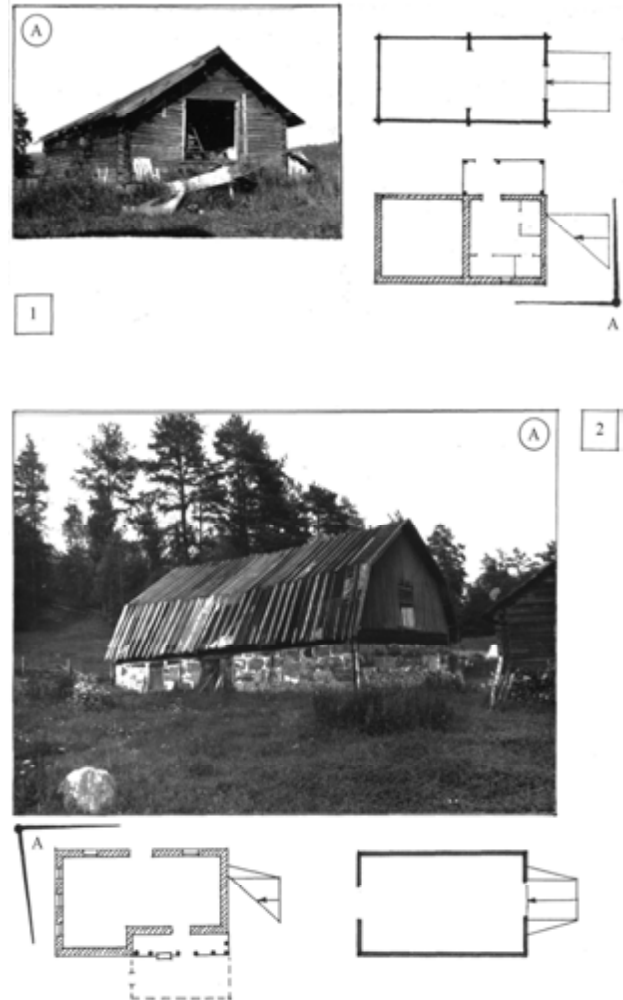


Рис. 4. Отдельно стоящие хозяйственно-производственные постройки Карельского Приладожья

1 – двор-сеновал у дома № 26, кон. XIX – нач. XX в., д. Мийнала, Лахденпохский р-н; 2 – двор-сеновал З. Ф. Пахомовой, кон. XIX – нач. XX в., д. Кортела, Лахденпохский р-н

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев О. Г., Медведев П. П., Реут О. Ч. Социально-экологическое обоснование хозяйственного развития приграничных с Финляндией районов Карелии // Молодежная инновационная политика: концепция развития Республики Карелия: Тез. докл. шк.-сем. Петрозаводск, 1993. С. 37–38.
2. Медведев Павел. Народная архитектура Карельского Приладожья конца XIX – первой трети XX в. // VI World congress for central and east european studies: Abstracts. 29 July 3 August 2000 Tampere, Finland. Helsinki: Oy Edita Ab, 2000. S. 277.
3. Медведев П. П. Исследование сельской архитектуры Приладожья конца XIX – первой половины XX в. – русское исследование // Культурное окружение северного побережья Ладожского озера. Финское культурное наследие в ландшафте северного побережья Ладожского озера. Окружающая среда Финляндии. Вып. 236 / Центр окружающей среды Финляндии. Хельсинки: типография Mikto Ku, 1998. С. 120–122.
4. Медведев П. П. Итоги исследования морфологии традиционных территориально-пространственных систем и объектов народного зодчества Российской Севера и их публикация в сети Интернет // Проблемы развития гуманитарной науки на Северо-Западе России: опыт, традиции, инновации: Материалы науч. конф., посвящ. 10-летию РГНФ 29 июня – 2 июля 2004 г.: Сб. науч. тр. ПетрГУ. Петрозаводск, 2004. С. 125–131.
5. Медведев П. П. Морфология традиционного крестьянского жилищно-хозяйственного комплекса Приладожья (предметно-содержательный и разведочный анализы) // Крупные озера Европы – Ладожское и Онежское (настоящее и будущее). Тез. докл. Международной конф. 27–29 ноября 1996 г. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1996. С. 92–94.

6. Медведев П. П. Морфология традиционных сельских поселений Российского Севера (предметно-содержательный математико-модельный анализ) // Международная научно-практическая конференция «Реконструкция-Санкт-Петербург-2005», 19–21 октября 2005 г. Сб. докл. Ч.1. СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2005. С. 25–28.
7. Медведев П. П. Применение математико-модельных методов анализа в ареальных исследованиях народного зодчества Российского Севера // Новые информационные ресурсы и технологии в исторических исследованиях и образовании. Сб. тез. докл. и сообщений Всероссийской конф. М., 2000. С. 85–86.
8. Медведев П. П., Ерасков Е. Л. Анализ объемно-планировочных структур крестьянских усадеб Приладожской Карелии с применением метода корреляционных диаграмм // Труды Петрозаводского государственного университета. Межвуз. сб. Серия «Строительство». Вып. 6. «Новые технологии в строительстве». Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1999. С. 29–33.
9. Медведев П. П., Козлова Т. Д. Комплексное ареальное исследование морфологии традиционных крестьянских усадеб Карельского Приладожья и Олонецкой Карелии // Международная научно-практическая конференция «Реконструкция-Санкт-Петербург-2005», 19–21 октября 2005 г. Сб. докл. Ч.1. СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2005. С. 34–37.
10. Медведев П. П., Реут О. Ч. Архитектурно-природная среда и рекреационные ресурсы Северного Приладожья // Региональная экология. № 3–4. 1996. С. 47–52.
11. Медведев П. П., Реут О. Ч. Исследование субрегиональной системы расселения: историко-архитектурный подход // Историческая география: тенденции и перспективы. Сб. науч. тр. СПб.: Изд-во РГО, 1995. С. 177–184.
12. Медведев П. П., Реут О. Ч. Принципы и приемы архитектурно-пространственной организации жилой среды на территории Приладожья // Крупные озера Европы – Ладожское и Онежское (настоящее и будущее). Тез. докл. Международной конф. 27–29 ноября 1996 г. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1996. С. 94–96.
13. Медведев П. П., Реут О. Ч. Традиционная сельская архитектурно-ландшафтная среда природного парка «Ладожские шхеры» // Природные парки в территориальной организации Южной Карелии. Сб. науч. тр. СПб.: Изд-во РГО, 1995. С. 105–115.
14. Народное хозяйство Карелии. 1926 г. – июнь 1941 г.: Документы и материалы / Ин-т языка, лит. и ист. КарНЦ АН СССР. Петрозаводск: Карелия, 1991. 238 с.
15. IITA-KARJALA. Uusimpien karjalaisten, venalaisten ja suomalaisten lahteiden perusteella toimittanut. Akateeminen karjala-seura. Helsinki, 1934. Mittakaava 1:1000000.
16. Kolehmainen A., Laine V. A. Suomalaiset uunit. Keuruu, 1981. 189 s.
17. Medvedev Pavel. Laatokan ja Aunuksen Karjalan kylien muodostuminen // Vaesto ja perhe Karjalassa. Население Карелии и карельская семья. Joensuun yliopistossa 24–26.9.2003 pidetyn seminaarin esitelmät. Joensuu: Joensuun yliopiston humanistinen tiedekunta, 2003. S. 31–33.

УДК 72.03 (470.22)

АЛЕКСАНДР ЮРЬЕВИЧ КОСЕНКОВ

аспирант, инженер Научно-исследовательского института
историко-теоретических проблем народного зодчества
ПетрГУ
alexandrik@onego.ru

ЧАСОВНИ КЛИМОВСКИХ КАРЕЛ

Статья представляет результаты этноархитектурного исследования, связанного с сопоставительным типологическим анализом традиционных деревянных часовен климовских (тихвинских) карел с аналогичными постройками их русских соседей, а также с часовнями карел на основной территории их проживания в Карелии. На основании архитектурной хронологической шкалы проводится датирование часовен климовских карел.

Ключевые слова: деревянное зодчество, народная культура, карелы, русские, часовни, локальные строительные традиции, хронологическая атрибуция

Традиционные деревянные часовни интересны в первую очередь тем, что они, в отличие от церквей, возводились местными плотниками и в силу этого более тесно связаны с локальными строительными традициями, иллюстрируя взаимодействие разных составляющих народного деревянного зодчества – культовой архитектуры, жилых и хозяйственных построек.

В отечественной историко-архитектурной литературе специальных работ, посвященных часовням, немного, а этноархитектурных исследований, соотносящих формообразование часовен с особенностями культуры того или иного народа, еще меньше [1]. Как правило, исследователи рассматривают отдельные памятники, не выявляя локальную и этническую специфику этого типа построек, характерную для определенной территории. Примером состояния дел с изучением часовен может служить выпущенный в 2005 году Российским научно-исследовательским институтом культурного и природного наследия имени Д. С. Лихачева первый каталог

деревянных часовен Русского Севера [2]. Полезность идеи труда такого рода несомненна, но перечень приведенных в нем храмов случаен, а описание памятников основано на их первичных учетных материалах (паспортах).

Во время экспедиции 2004 года в Климовскую волость (Бокситогорский район Ленинградской области) автор обратил внимание на особенности культовой архитектуры местного карельского населения, что и предопределило написание настоящей работы, посвященной элементарному сопоставлению часовен климовских карел с аналогичными постройками их русских соседей, а также, что особенно важно, с часовнями карел на основной территории их расселения в Карелии.

Известно, что на территории современной Климовской волости (в конце XIX века – Тарантаевская волость Тихвинского уезда Новгородской губернии) издревле проживало славянское население. Однако с 50-х годов XVII века здесь, на землях, сильно опустошенных польско-

шведским нашествием и последующей эпидемией оспы, началось массовое расселение карельских крестьян из захваченного шведами Северо-западного Приладожья [3].

Сложившийся ареал климовских (или тихвинских) карел протянулся в направлении с северо-запада на восток вдоль извилистого русла реки

Чагоды и ее притоков (рис. 1). На востоке ареал вплотную подступает к русским деревням [4]. Анклавное расселение карел в русской этнической среде способствовало их ассимиляции, которая заметно активизировалась с начала 50-х годов XX века, когда на обследуемой территории впервые были зафиксированы смешанные браки [5].



Рис. 1. Ареал расселения климовских карел

Этнограф О. М. Фишман выделяет в анклав климовских карел три микролокуса: Русь – деревни, подвергшиеся в первую очередь обрусению (Коростелёво, Утlikово, Дятелка и др.); Глухая Корела – старо- и новопоселенческие карельские деревни, сохранившие в большей степени свою самобытность (Моклаково, Бирючëво, Забелино и др.); и деревни, занимающие промежуточное положение между ними (Толсть, Курята и Логиново) [6].

Переселение карел в Тихвинский край совпало по времени с Никоновской реформой (1654–1655 годы), вызвавшей раскол русской православной церкви. Приверженность карел старой вере способствовала усилению присущего им традиционализма и обеспечила этнокультурную устойчивость переселенцев, несмотря на их малочисленность,

что непосредственно отразилось и на строительной деятельности климовских карел.

В 2004 году на территории Климовской волости сохранились безалтарные храмы в карельских деревнях Бирючëво, Коростелёво, Моклаково, Толсть и в русских – Белый Бор, Труфаново, Турандино, Шульгино. Кроме того, автор проанализировал данные по часовням в деревнях Луга (разрушилась), Новиково (разобрана на конюшню), Курята (сгорела в 2000 году), собранные сотрудниками СПб НИИ «Спецпроектреставрация» в 1982 году [7]. По данным О. М. Фишман и сообщениям информаторов, известно также о существовании часовен в деревнях Коргорка, Забелино, Логиново.

На первый взгляд, сходство между обследованными разноэтничными часовнями преоблада-

ет над различиями. Они срублены как из сосны, так и из ели «в обло», и, скорее всего, выбор древесины для нужд строительства диктовался преимущественно характером местной флоры. Однако учитывая наряду с материалами автора данные СПб НИИ «Спецпроектреставрация» [8], можно констатировать: при строительстве безалтарных храмов карелы все же несколько чаще, чем русские, использовали еловую древесину. Поэтому гипотетически (из-за недостаточности статистической базы для корректного заключения) можно предположить, что ель все же считалась карельскими плотниками Климовской волости более приоритетным для храмостроительства материалом. Правомерность такого предположения косвенно подтверждается известными фактами сакрализации ели в карельском фольклоре. Так, В. П. Ершов в ряде работ показал, что ель в религиозно-мифологических представлениях финно-угров являлась «связующим звеном между мифологическими мирами (живых и мертвых) и потому широко использовалась в похоронной обрядности» [9].

Еще более отчетливо различие между карельскими и русскими часовнями Климовской волости прослеживается в их функциональных особенностях и отношении к ландшафту. Обследованные карельские часовни в деревнях Бирючьево, Коростёлево и Моклаково входят в состав некрокультурных комплексов – кладбищенских рощ, и только часовня в деревне Толсть, стоящая на деревенской площади, является *мирской* (термин О. М. Фишман) [10]. Наоборот, все русские часовни расположены в деревнях, как правило, на периферии застройки на хорошо просматриваемых местах (лугах и горках). Только часовня вблизи деревни Шульгино расположена вне поселения на месте древнего захоронения – жальника. Причина такого различия объяснима: как показал В. П. Орфинский, основополагающие тенденции развития культуры карельского народа – природосообразность и природоподражательность – предопределили специфику его религиозных представлений – христианско-языческий синкретизм, исключавший возможность художественного соперничества культовых построек и сакрализованных природных форм («священных» деревьев). Как следствие – вписанность карельских часовен в ландшафт в противоположность характерной для русских храмов их доминирующей роли в архитектурно-природной среде [11]. С устойчивостью древнекарельских культов предков-прародителей и священного дерева связано широкое распространение кладбищенских часовен в ареалах различных этно-диалектных групп карел. В этом отношении климовские карелы не являются исключением.

Общим признаком всех часовен Климовской волости является рубка их срубов «в обло». Несмотря на широко бытующее название такого углового соединения – «в русский угол», оно

в своем каноническом виде – с нижней припазовкой венцов – зафиксировано в часовнях карел, в то время как в постройках русских варьируется: выполняется в архаичном виде – с верхней припазовкой (рис. 2а) или, наоборот, упрощенно – с ниже-боковой подтеской концов бревен (рис. 2б). Относительно большую устойчивость в карельских часовнях рубки «в обло» можно объяснить следующим: в Приладожье на племенной территории карелы в зоне русско-шведского приграничья рубка «в обло» как одна из характерных особенностей культовых построек, заимствованных местным населением вместе с религией у русских, закономерно могла восприниматься как этно-конфессиональный признак, отличавший православных карел от их соседей – финнов-лютеран. Со временем такая рубка, особенно после вынужденной миграции приладожан в глубь России, включая Тихвинский край, могла способствовать их этнической самоидентификации, что, по-видимому, и предопределило ее «канонизацию» [12].

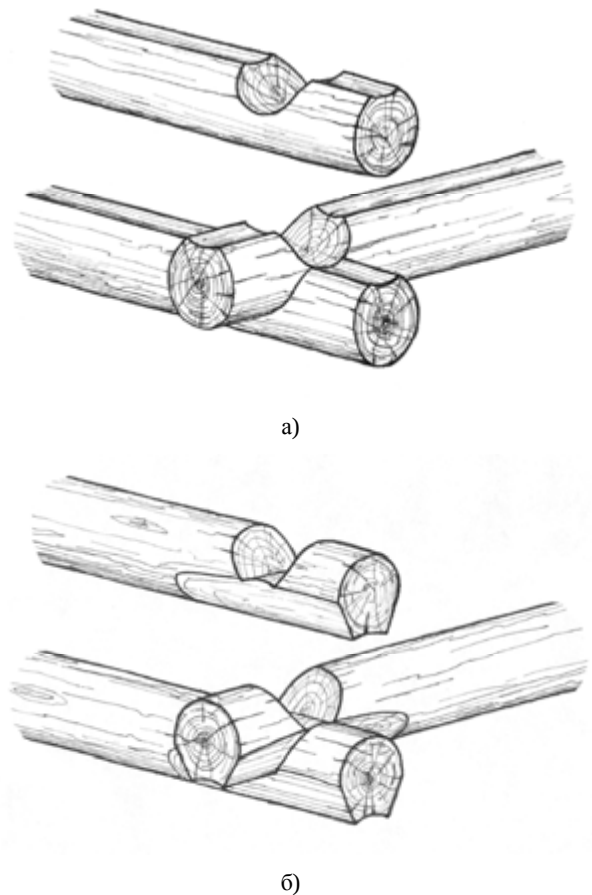


Рис. 2. Особенности угловых врубок у русских Климовской волости

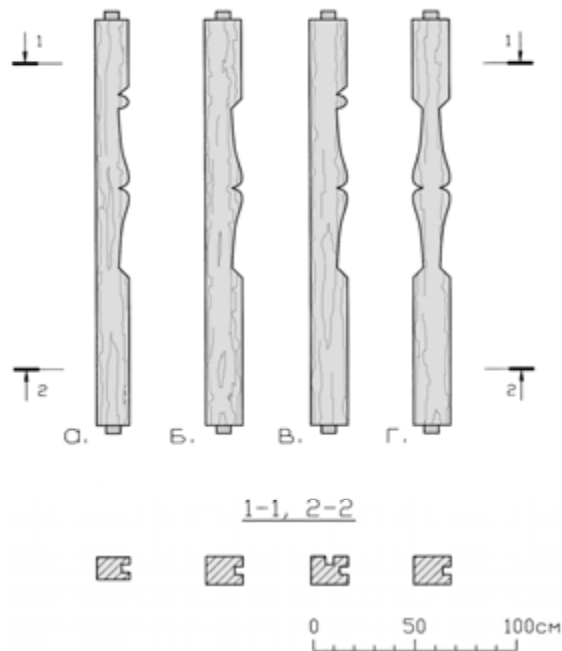
а – рубка «в обло» с верхним продольным пазом (часовня близ д. Шульгино); б – подтесывание (сомнение) концов бревен при рубке «в обло» (Ильинская часовня в д. Труфаново)

По данным СПб НИИ «Спецпроектреставрация», известны случаи использования остова (сруба) хозяйственных построек для культовых: часовни в деревнях Курята, Луга, Новиково были собраны из срубов бывших амбаров. Так как на территории Климовской волости нередко амбары рубили «в шведский угол» (с шестигранной отеской торцов бревен), то вышеуказанные часовни наследовали этот признак (рис. 3).

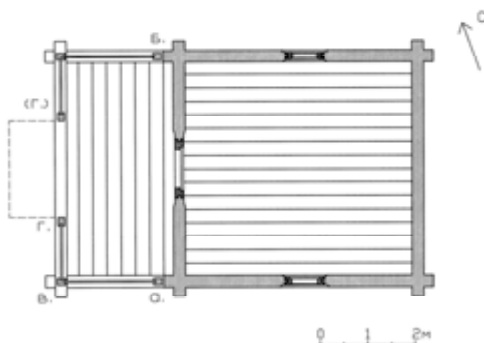


Рис. 3. Шестигранная обработка концов бревен («шведский угол») амбара в д. Шульгино (фото И. Е. Гришиной, 2004 г.)

Из обследованных карельских часовен в самом плохом техническом состоянии находилась однокамерная часовня св. апостола Фомы в д. Моклаково. Входная галерея храма была руинирована, но автор по выявленным следам и сохранившимся деталям (резным столбам) попытался реконструировать ее утраченную часть. Обнаруженные рядом с часовней столбы (рис. 4а) имели нюансы различия в порезке, при определении их местоположения учитывались штрабы для заполнения ограждения галереи (рис. 4б). Наличие штраб в верхней части столбов свидетельствует о существовании подзоров. Следы от потолочных балок на западной стене сруба кафоликона позволили выявить наличие потолка галереи и положение поддерживающих балки столбов. Сугубо гипотетически (по аналогам) автором реконструированы приставное крыльцо и самцово-слеговая крыша галереи (рис. 4в).



а)



б)



в)

Рис. 4. Часовня св. Фомы в д. Моклаково

а – сохранившиеся столбы галереи; б – план часовни с расположением обнаруженных столбов; в – реконструкция храма

Судя по следам, аналогичную галерею изначально имела и часовня в д. Бирючёво. На момент обследования часовня представляла собой двухкамерную постройку (рис. 5а). Трехстенный прируб притвора стыкуется со срубом молитвенного помещения с помощью вертикальных столбов, в пазы которых заведены гребни на торцах продольных стен притвора. Столбы установлены между выпусками бревен молитвенного помещения – двух верхних и четырех нижних. Примерно посередине высоты столбы имеют дополнительное крепление нагелями к торцам примыкающих стен молитвенного помещения. Кроме того, различные конструкции дверных проемов (четырёх- и трехкосячатый) молитвенного помещения и притвора, свидетельствуют о одновременном возведении сруба часовни и прируба к нему (рис. 5б). Таким образом, исходя из общей логики развития деревянных безалтарных храмов с учетом отмеченных деталей, можно предположить, что первоначально часовня была срублена как однокамерная постройка с торцевой галереей, устроенной на 4-венцовом основании.



а)



б)

Рис. 5. Часовня в д. Бирючёво

а – общий вид (фото И. Е. Гришиной, 2004 г.); б – план

Безалтарные храмы с галереями такого типа известны и на территории Карелии: в Заонежье в деревнях Задняя, Бережная (Типиницы) и в восточном Обонежье на оз. Водлозеро в деревнях Маткалахта, Колгостров, Гумарнаволоок.

При детальном осмотре часовни в деревнях Моклаково и Бирючёво выглядят разновременными, однако композиционно они очень схожи. По всей видимости, укорененность во времени такого типа часовен (сруб с торцевой галереей под общей самцово-слеговой крышей) связана с особой консервативностью и устойчивостью культуры климовских карел, что подтверждают исследования О. М. Фишман. Именно эти деревни она вводит в состав круга деревень под названием «Глухая Корела», или «настоящая Корела».

Говоря о размерах часовен в Моклаково и Бирючёво, следует отметить, что первая почти в полтора раза превышает вторую по объему. Обратившись к переписи населения за 1897 год, обнаруживаем, что и численность населения в этих деревнях имеет практически такое же соотношение. Скорее всего, размеры часовен в данных деревнях продиктованы количеством прихожан.

В трех карельских часовнях (Бирючёво, Коростелёво, Толсть) зафиксированы любопытные, довольно редко встречающиеся в безалтарных храмах детали – кронштейны – выпуски верхних бревен продольных стен (рис. 6). В Бирючёво выпущено под первыми слегами по одному бревну (без обработки). В коростелёвской часовне выпуски верхних бревен образуют криволинейный контур, имитирующий повал стен. И наконец, кронштейны часовни в д. Толсть образованы выпусками трех верхних бревен, из которых два нижних окантованы и, кроме того, самое нижнее имеет обработку в виде криволинейного контура. В данном случае кронштейны не воспринимают каких-либо нагрузок, поскольку свесы кровли поддерживаются столбами галереи. Они лишь имитируют классические кронштейны, особенно отчетливо при взгляде на храм с севера или с юга. Прямой преемственности с кронштейнами коростелёвской часовни здесь нет, однако ассоциативная связь прослеживается.

В целом, следует отметить, что для территории современного Бокситогорского района Ленинградской области ведущим типом часовни является однокамерный сруб с торцевой галереей под общей крышей. Такие храмы зафиксированы у всех этнических групп: русских, карел и вепсов [13], проживающих на этой территории. Меньшее распространение получили храмы с трехсторонними галереями: у русских – в деревнях Луга, Белый Бор, Загольно; у карел – в д. Толсть (рис. 7); у вепсов – в д. Красный Бор.

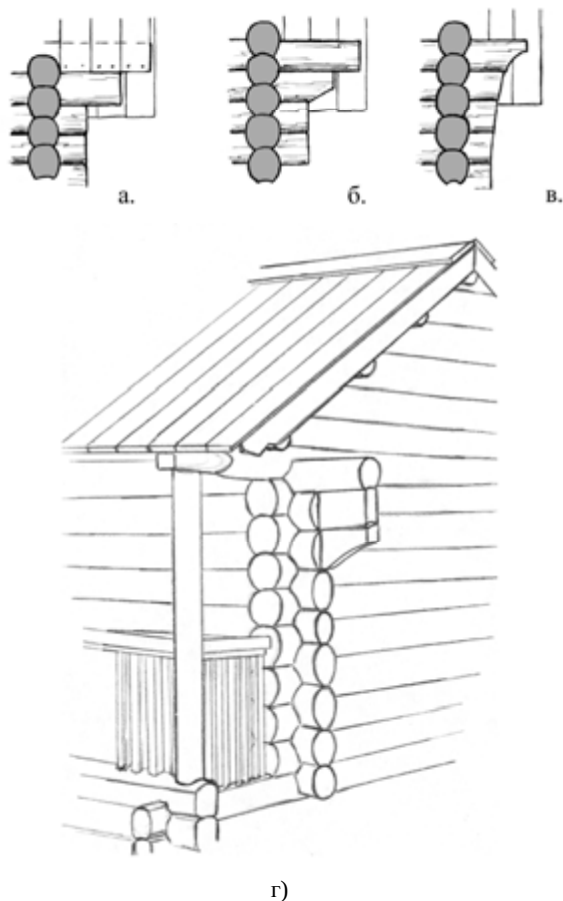
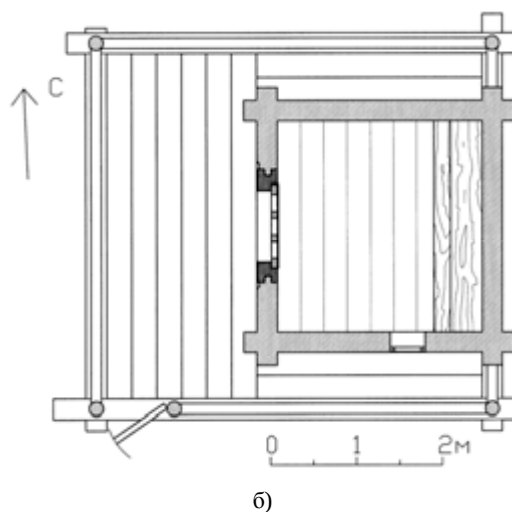


Рис. 6. Подкровельные кронштейны часовен климовских карел

а – часовня в Бирючёво; *б*, *в* – часовня в Коростелёво;
г – часовня в д. Толсть



а)



б)

Рис. 7. Часовня в д. Толсть

а – общий вид (фото автора, 2004 г.); *б* – план часовни

Культовые постройки с галереями, охватывающими здание с трех сторон и опирающимися на консоли или на сруб, в Карелии, относительно малочисленны и встречаются преимущественно в русской части края, в частности, в Заонежье можно назвать Петропавловскую часовню в д. Насоновщина на Волкострове [14], часовню Иоанна Предтечи в д. Вороний Остров [15], в восточном Обонежье – разобранную в 80-е годы XX века часовню в д. Ченежа Пудожского района. Такой тип культовых построек, скорее всего, был привнесен на территорию Карелии извне и значительно позже времени массового переселения карел. Поэтому возникновение часовни с трехсторонней галереей в карельской деревне Толсть предположительно можно связать с русскими влияниями.

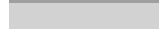
В ходе натурного обследования и опросов местных жителей установить точное время строительства карельских часовен в Климовской волости не удалось. Можно лишь предположить, что нижняя хронологическая граница возведения относится ко времени переселения карел на тихвинские земли – к концу XVII века.

Датировки часовен, предложенные СПб НИИ «Спецпроектреставрация», охватывают слишком большие промежутки времени (около двух столетий): Бирючёво – кон. XVIII – нач. XIX в.; Коростелёво – XVII–XVIII вв.; Моклаково – XVIII–XIX вв.; Толсть – XVIII–XIX вв. Поэтому при хронологической атрибуции обследуемых часовен автор использовал архитектурно-археологическую шкалу для датировки церквей и часовен Карелии, позволяющую по совокупности признаков определить возраст анализируемых объектов [16]. Правда, в чистом виде такую шкалу для хронологической атрибуции культовых построек за пределами Карелии применять нельзя из-за несинхронности развития народного зодчества в пределах Русского Севера и прилегающих к нему земель [17]. Вместе с тем при взаимосмещении на различных территориях хронологических ареалов архитектурных приемов, форм и деталей последовательность их чередования остается в принципе неизменной, что дает возможность воспользоваться карельской шкалой для ориентировочной хронологической атрибуции культовых построек в других субрегионах.

Таблица 1

**ФРАГМЕНТ АРХИТЕКТУРНО-АРХЕОЛОГИЧЕСКОЙ ШКАЛЫ ДЛЯ ДАТИРОВКИ
ЧАСОВЕН И ЦЕРКВЕЙ КАРЕЛИИ [18]**

№ № пп	НАИМЕНОВАНИЕ ПРИЗНАКОВ (ФОРМ, ДЕТАЛЕЙ, ПРИЕМОВ)	ХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ ПЕРИОДЫ					
		вт. пол. XVII в.	XVIII в.		XIX в.		нач. XX в.
1	2	3	перв. пол.	вт. пол.	перв. пол.	вт. пол.	8
1	ОДНОЧАСТНЫЕ КЛЕТСКИЕ ЧАСОВНИ						
2	РАЗНОВЫСОКИЕ И РАВНОШИРОКИЕ КЛЕТСКИЕ ЧАСОВНИ:						
2.1	- " - двухчастные;						
3	РАВНОВЫСОКИЕ И РАВНОШИРОКИЕ КЛЕТСКИЕ ЧАСОВНИ:						
3.1	- " - двухчастные;						
6	ГЛАВНЫЕ КУЛЬТОВЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ:						
6.1	близкие к квадрату.						
10	СТЕНЫ В ГЛАВНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ ХРАМОВ:						
10.2	повальные;						
10.3	стены неотесанные;						
10.4	частично отесанные изнутри со скруглением углов.						
13	ДРУГИЕ ОСОБЕННОСТИ РУБЛЕННЫХ СТЕН:						
13.1	наращивание бревен;						
13.5	одночастная подтеска бревен у проемов;						
13.6	двухчастная подтеска бревен у проемов.						
17	ПОТОЛКИ:						
17.2	тесовые потолки "в елочку"						
20	ДВЕРИ:						
20.1	по конструкции колод:						
20.1.2	Четырехкосящатые колоды с сопряжением косяков «в ус» с гребнем и заплечиками (В/2),						
20.1.4	Трехкосящатые колоды с сопряжением косяков «в ус», с гребнем и заплечиками (Г/2),						
20.1.7	Трехкосящатые колоды с сопряжением косяков вверх «в ус», внизу - прямо, без гребня и заплечиков (Д/2).						
21	ОКНА:						
21.1	по конструкции колод:						
21.1.2	Четырехкосящатые колоды с сопряжением косяков «в ус», с подушкой в виде зеркального вершника (В/1),						
21.1.4	Трехкосящатые колоды с сопряжением косяков «в ус», с гребнем и заплечиками (Г/2),						
21.1.5	Трехкосящатые колоды с сопряжением косяков «в ус» без заплечиков (Г/3),						
21.1.6	Трехкосящатые колоды с сопряжением косяков вверх «в ус» с гребнем и заплечиками, внизу – прямо (Д/1).						
23	РЕЗНЫЕ СТОЛБЫ:						
23.1	круглые.						
24	ОГРАЖДЕНИЯ:						
24.2	тесовые "в елочку";						
24.5	из квадратных брусков.						

 – период наиболее вероятного распространения;
 – период вероятного распространения;
 – период маловероятного распространения.

Из большинства приведенных в шкале признаков, пожалуй, более четко можно проследить последовательность смены во времени конструкций дверных и оконных проемов, поскольку последние в старинных традиционных постройках, как правило, имеют относительно высокую степень сохранности и достоверности.

Самые архаичные конструкции оконных и дверного проемов – четырехкосячатые колоды с сопряжением косяков «в ус» с наличием гребня и заплечиков – представлены в часовне д. Бирючёво. Они относятся к первому строительному периоду, когда храм существовал в виде однокамерной постройки с западной галереей, устроенной на выпусках бревен основного сруба. Интерьер часовни освещен северным и южным окнами. Из них только северное окно имеет подушку, зеркальный вершник, – с гребнем и заплечиками (рис. 8). Следует отметить, что эволюция четырехкосячатых проемов шла по пути упрощения и «удаления излишеств» – ликвидации гребня на подушке, а затем и самой подушки. Примечательно, что два архаичных типа конструкций проемов, обычно сменяющих друг друга по времени, – четырехкосячатая колода с подушкой в виде зеркального вершника и подушкой без гребня – в часовне деревни Бирючёво соседствуют в одном срубе и, мало того, были устроены в одно время [19]. В соответствии с карельской шкалой с высокой степенью вероятности их можно датировать второй половиной XVII века.

В дальнейшем развитии у проемов ликвидируются подушки, и проемы приобретают трехкосячатое обрамление с сопряжением косяков с вершником и пороховым или подоконным бревном «в ус», с гребнем и заплечиками на вершнике. Так, во время реконструкции часовни в д. Бирючёво вместо западной галереи был устроен темный прируб притвора с таким типом входного проема. Аналогичный дверной проем был зафиксирован и в изначально двухкамерной Успенской часовне в д. Коростелёво (рис. 9). Наиболее вероятное время бытования трехкосячатых проемов с сопряжением косяков с вершником и нижним бревном «в ус», с наличием гребня и заплечиков – вторая половина XVII – первая половина XVIII века.

Во второй половине XVIII века развитие конструкций проемов связано с упрощением нижнего узла, а именно с переходом к сопряжению косяков с нижним бревном под прямым углом. Оконные и дверные проемы такого типа устроены в часовне деревни Моклаково. Особенность устройства оконного проема здесь заключается в том, что заплечики и гребень обращены в интерьер однокамерной часовни; а дверного проема – в наличии контурной порезки заплечиков вершника. Такая обработка заплечиков проемов зафиксирована и у русских в Никольской церкви в д. Озерёво,

и в Карелии (в Заонежье – часовня в д. Пурдега [20], в Сегозерье – амбар в д. Паданский Погост [21]).



а)



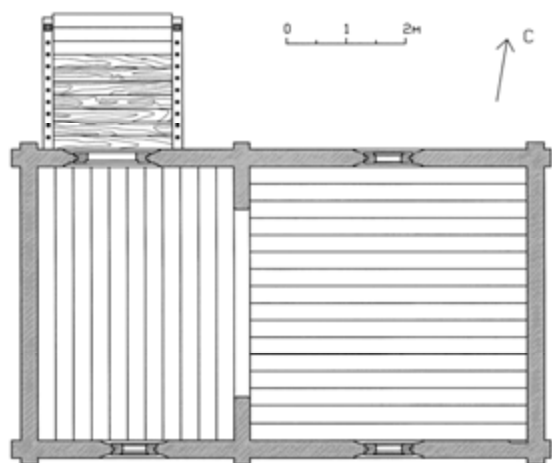
б)

Рис. 8. Косячатые оконные проемы часовни в д. Бирючёво (фото И. Е. Гришиной, 2004 г.)

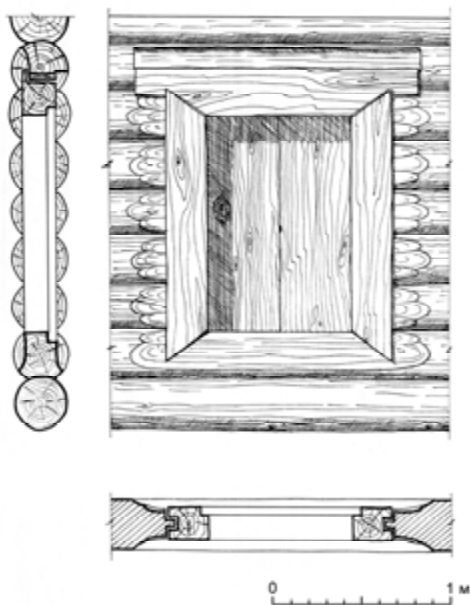
а – северное окно; б – южное окно



а)



б)



в)

Рис. 9. Успенская часовня в д. Коростелёво
 а – общий вид (фото И. Е. Гришиной, 2004 г.);
 б – план часовни; в – дверной проем
 (из материалов СПб НИИ «Спецпроектреставрация»)



Рис. 10. Дверной проем часовни в д. Толсть
 (фото И. Е. Гришиной, 2004 г.)

В первой половине XIX века происходит ликвидация гребня и заплечиков при сохранении трехкосячатой колоды с сопряжением косяков вверху «в ус», внизу – под прямым углом. Примером такого типа проемов является дверной проем часовни в д. Толсть (рис. 10).

Таким образом, на основании типов проемов удалось выполнить ориентировочную относительную датировку часовен климовских карел. Для ее уточнения необходимо выявить «величину несинхронности» развития безалтарных храмов на исследуемой территории по отношению к часовням Карелии, для чего необходимо провести хотя бы зондажные дендрохронологические исследования.

Автор попытался соотнести и другие архитектурные признаки с карельской шкалой для датировки часовен. К ним относятся камерность срубов, наличие повалов стен, конструкции потолков, подтески при сопряжении бревен с косяками проемов.

Данных для определения наиболее вероятного периода бытования однокамерных часовен у климовских карел недостаточно. Можно лишь констатировать их наличие в деревнях Бирючьево

(на первый строительный период), Моклаково и Толсть. У русских же все существующие и достоверно известные безалтарные храмы являются однокамерными постройками, в большинстве случаев с устройством торцевой галереи под общей крышей с основным помещением.

Двухкамерные равноширокие часовни представлены в деревнях Бирючёво (второй строительный период) и Коростелёво. На территории Карелии двухчастные равноширокие безалтарные храмы возводились в исследуемый период истории (со второй половины XVII до начала XX века) повсеместно, что не дает оснований для проведения сопоставительного анализа. Однако высотность помещений в пределах сруба часовен климовских карел обращает на себя внимание: оба безалтарных храма – равновысокие. В Карелии равновысокие клетские часовни получили распространение лишь с первой половиной XIX века. На основе приведенного сопоставления, придерживаясь датировки, полученной при анализе конструктивных приемов (проемов, стен с повалами, потолков, относящихся ко второй половине XVII – первой половине XVIII века), можно заключить, что тенденция к регулярности объемного решения часовен у климовских карел проявилась значительно раньше, чем у карел на племенной территории, что, видимо, вызвано влиянием культовых построек русских соседей.

Повал стен имеют только две вышеназванные кладбищенские часовни, причем повал часовни в д. Коростелёво устроен по всей длине сооружения, что делалось в Карелии только до конца XVIII века, а в часовне в д. Бирючёво лишь на молитвенном помещении. Однако по сравнению с часовнями Карелии здесь геометрия повалов выражена слабо.

Еще одной особенностью двух названных часовен – трехчастная (как исключение, двухчастная) подтепка в местах сопряжения бревен стен с косяками дверных и оконных проемов, выполняемая по середине бревна в виде основного полуовала и двух меньших по размеру полуовалов сверху и снизу основного (рис. 11). Кроме часовен, трехчастная подтепка зафиксирована на амбаре в русской деревне Шульгино. Такая подтепка встречается достаточно редко. К примеру, на территории Карелии она отмечена Л. Петтерссоном лишь на двух культовых постройках в Заонежье и на основе этого датирована 1750 – 1820 годами [22].

Следует отметить, что в часовне в д. Бирючёво наряду с трехчастной подтепкой применена одночастная и двухчастная полуовальная, что подтверждает предположение Л. Петтерссона, что трехчастная подтепка является модификацией одночастной полуовальной.

Бревна стен при сопряжении с косяками дверного проема часовни в д. Толсть имеют двухчастную сегментарную подтепку. По карельской шкале данный прием получил распространение со второй половины XIX до начала XX века. Ча-

совня в Моклаково имеет полуовальную подтепку бревен стен у проемов: у дверного проема с обеих сторон криволинейная полуовальная подтепка, у оконных проемов – снаружи криволинейная полуовальная, в интерьере прямая полуовальная. В Карелии полуовальная подтепка была распространена в период со второй половины XVII до середины XVIII века.

Архаичный прием устройства перекрытия – потолка с тесовым заполнением «в елочку» выявлен в часовнях в деревнях Коростелёво и Моклаково, что применительно к коростелёвской часовне хорошо коррелируется со шкалой для датировки часовен Карелии: распространение такого типа потолка и трехкосячатых проемов с гребнем и заплечиками совпадает по времени и относится ко второй половине XVII – первой половине XVIII века. Что же касается часовни в Моклаково, то архаизация прослеживается не только в ее общем композиционном решении (как уже отмечалось выше), но и в деталях.



Рис. 11. Трехчастная подтепка бревен стены в месте сопряжения с косяками дверного проема (часовня в Коростелёво).

(фото И. Е. Гришиной, 2004 г.)

Еще один прием, попавший в поле зрения автора, – наращивание бревен по длине. Так, в часовне в Моклаково стык бревен основания галереи выполнен «в шип», а в часовне в Бирючёво в основании притвора несколько бревен сопрягаются «в косую обратную накладку». В Карелии приемы сращивания бревен по длине стали активно применяться с конца XVIII века [23]. У климовских карел такие приемы зафиксированы в часовнях до середины XVIII века. Поскольку территория расселения климовских карел намного южнее Карелии, то и приемы сращивания бревен по длине здесь могли появиться несколько раньше в связи с недостатком длиномерной древесины (на обследованных постройках разница составляет примерно треть века, о чем свидетельствует и предварительная датировка, полученная на основе анализа конструкций проемов).

Достаточно интересен вопрос с внутренней отеской стен молитвенного помещения часовен. Хронологический ареал такого приема в Карелии отнесен ко второй половине XVIII века. Все относительно древние часовни климовских карел имеют неотесанные стены, за исключением часовни в Бирючёво. Но и в ней, по всей видимости, стены были частично отесаны со скруглением в углах только во время реконструкции. При этом весьма необычно в последней часовне решено сопряжение отесанных стен с косяками дверного проема кафолика. Поскольку косяки несколько выступают над плоскостью стены, при отеске последних был использован прием скругления бревен в местах их сопряжения с косяками проема, аналогичный скруглению при отеске стен в углах (рис. 12).

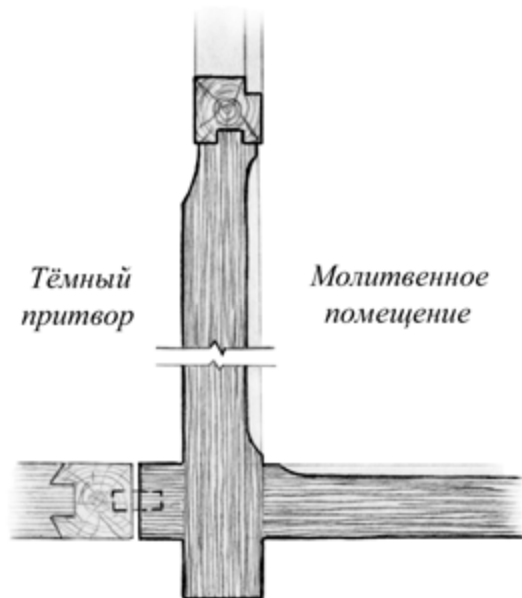


Рис. 12. Скругление плоскости отески стен в месте сопряжения с косяками дверного проема (часовня в Бирючёво)

В противоположность карельским во всех русских часовнях стены изнутри отесаны. Таким образом, сохранение неотесанных стен в интерьере молитвенного помещения является характерным признаком храмостроительства климовских карел, что лишний раз подчеркивает повышенный традиционализм их культуры.

У всех рассмотренных кладбищенских часовен молитвенное помещение освещается двумя окнами, симметрично расположенными на северной и южной стенах. Исторически такому стремлению к упорядочению архитектурной формы предшествовало смещение оконных проемов к восточной стене для лучшего освещения иконостаса [24]. Поскольку у климовских карел не было выявлено древних часовен со смещенными окнами, можно предположить, что переход к симметричному расположению оконных проемов в срубе произошел еще на племенной территории карелы или осуществлялся на момент переселения.

Архитектурная реакция на угрозу ассимиляции у климовских карел на рубеже нового и новейшего времени особенно ярко проявилась в архаизации приемов храмостроительства. Так, явно поздняя часовня в деревне Толсть при детальном осмотре наряду с относительно новыми конструктивными приемами (двухчастная сегментарная подтепка стен в местах сопряжения с косяками дверного проема; позднее решетчатое дверное полотно; трехкосячатая колода дверного проема с сопряжением косяков сверху «в ус» без гребня и заплечиков, внизу – прямо; развитая трехсторонняя галерея) демонстрирует архаичные черты: почти квадратное в плане крошечное молитвенное помещение (2,6 x 2,7 м) (см. рис. 76), пологая крыша и единственное южное бескосячатое оконце, смещенное к восточной стене молитвенного помещения (такое смещение окон в часовнях Карелии соответствует наиболее раннему и завершающему этапам их эволюции).

На основании проведенного сравнительного анализа автор предлагает следующую датировку часовен климовских карел: Бирючёво – конец XVII – первая половина XVIII века; Коростелёво – первая половина XVIII века; Моклаково – середина XVIII века; Толсть – вторая половина XIX века.

Итак, скорее всего, карелы во второй половине XVII века пришли на тихвинские земли с уже сложившимися традициями храмостроительства, что во многом предопределило близкое к синхронному развитие безалтарных храмов климовских карел и аналогичных построек на территории Карелии. Но на основании ряда нюансов архитектурно-конструктивных особенностей можно предположить, что на территории современной Климовской волости в результате взаимодействия с русскими соседями сформировалась своя достаточно локализованная храмостроительная «школа». Впрочем, из-за недостаточности статистических данных последнее предположение нуждается в дополнительной проверке в процессе сплошного обследования сохранившихся традиционных культовых построек на сопредельных территориях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основные этноархитектурные исследования часовен: Орфинский В. П. Культовое зодчество Сегозерья // Деревня Юккогуба и ее округа. Петрозаводск, 2001. С. 92–123; Орфинский В. П. Часовни в традиционной культуре карел // Народное зодчество: Межвуз. сб. Петрозаводск, 2004. С. 75–125; Орфинский В. П. Народное храмоостроительство // История и культура Сямозерья. Петрозаводск (в печати).
2. Головкин К. Г. Деревянные часовни Русского Севера. М., 2005.
3. Фишман О. М. Жизнь по вере: тихвинские карелы-старообрядцы. М., 2003. С. 19.
4. Фишман О. М. Жизнь по вере... С. 115.
5. Фишман О. М. Жизнь по вере... С. 170.
6. Фишман О. М. Жизнь по вере... С. 115–116.
7. Архив СПб НИИ «Спецпроектреставрация». Бокситогорский район Ленинградской области. Инвентаризация и разработка предложений по сохранению и использованию памятников истории и культуры. Раздел II. Историко-архивные исследования, инвентаризация памятников и натурное обследование района. Том. VII. Арх. № 2522. Обмеры: арх. №№ 16155, 16189, 16258, 16165, 16167, 16166, 16187, 16174, 15157, 16257, 16256.
8. Архив Ленинградского филиала института «Спецпроектреставрация»... Том. VII. Арх. № 2522 С. 113–114, С. 139, С. 87–88, С. 245–246, С. 232–233, С. 105.
9. Ершов В. П. Доска для иконы // Свое и чужое в культуре народов Европейского Севера (Материалы III Международной научной конференции). Петрозаводск, 2001. С. 48; Он же. Спасы-прародители // Деревня Юккогуба и ее округа. Петрозаводск, 2001. С. 340; Он же. Ель – дерево мертвых // Локальные традиции в народной культуре Русского Севера (материалы IV Международной научной конференции «Рябининские чтения – 2003»). Петрозаводск, 2003. С. 386.
10. Фишман О. М. Жизнь по вере... С. 24–25.
11. Орфинский В. П. Деревянное зодчество Карелии. Генезис, эволюция, национальные особенности: дис. на соиск. уч. ст. доктора архитектуры. Т. I. М., 1975. С. 284–286.
12. Орфинский В. П. Часовни в традиционной культуре карел... С. 108.
13. Обследование часовен южных вепсов Бокситогорского района Ленинградской области проведено автором под руководством В. П. Орфинского в 2002 году во время экспедиции ПетрГУ по проекту № ЭО281 «По следам древних вепсов (комплексное экспедиционное историко-культурное исследование)», ФЦП «Интеграция».
14. Яскеляйнен А. Т. К вопросу о датировке и эволюции часовни Петра и Павла на Волкострове // Проблемы исследования, реставрации и использования архитектурного наследия Российского Севера. Петрозаводск, 1991. С. 124–130.
15. Кутькова Г. А. Культовые постройки деревни Вороний Остров в Заонежье // Народное зодчество. Петрозаводск, 1998. С. 159–165.
16. Орфинский В. П., Яскеляйнен А. Т. Хронологическая атрибуция сооружений народного деревянного культового зодчества // Орфинский В. П., Гришина И. Е. Типология деревянного культового зодчества Русского Севера. Петрозаводск, 2004. С. 223–229.
17. О несинхронности подробнее см.: Орфинский В. П., Гришина И. Е. Элементы цикличности в развитии народного деревянного зодчества // Народное зодчество. Межвуз. сб. Петрозаводск, 1999. С. 23–37; Орфинский В. П. Несинхронность эволюционных преобразований как ключ к расшифровке этнической специфики деревянного зодчества Карелии // «Свое» и «чужое» в культуре народов Европейского Севера. Петрозаводск, 2001. С. 13.
18. Полностью архитектурно-археологическая шкала для датировки часовен и церквей Карелии приведена в: Орфинский В. П., Яскеляйнен А. Т. Хронологическая атрибуция сооружений народного деревянного культового зодчества // Орфинский В. П., Гришина И. Е. Типология деревянного культового зодчества Русского Севера. Петрозаводск, 2004. С. 223–229. Полностью архитектурно-археологическая шкала для датировки часовен и церквей Карелии приведена в: Орфинский В. П., Яскеляйнен А. Т. Хронологическая атрибуция сооружений народного деревянного культового зодчества // Орфинский В. П., Гришина И. Е. Типология деревянного культового зодчества Русского Севера. Петрозаводск, 2004. С. 223–229.
19. По мнению известного реставратора памятников деревянного зодчества А. В. Попова, неоднократно фиксировавшего такое единовременное применение разных конструктивных приемов, оно могло быть вызвано участием в работе по «обкосячке» разных мастеров.
20. Pettersson L. Äänisniemen kirkollinen puuarkkitehtuuri. Helsinki, 1950. S. 230.
21. Гришина И. Е. Архитектурный декор // Деревня Юккогуба и ее округа. Петрозаводск, 2001. С. 164–165.
22. Pettersson L. Äänisniemen ... S. 231.
23. Орфинский В. П., Яскеляйнен А. Т. Хронологическая атрибуция... С. 225, п. 13.1.
24. Орфинский В. П. Культовое зодчество Сегозерья... С. 118; Орфинский В. П., Гришина И. Е. Типология... С. 138, Р:ДП8/(1) – ДП8/(2).

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 РАМНОЙ КОНСТРУКЦИИ ИЗ СОСТАВНЫХ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Разработан алгоритм расчета, позволяющий выполнить деформационный расчет и проверить устойчивость рамной конструкции из составных элементов при работе материала за пределом упругости. Расчет рамы осуществляется с использованием эквивалентного модуля, учитывающего влияние деформаций сдвига. Алгоритм расчета учитывает нелинейные геометрические и физические эффекты, возникающие в элементах рамы при работе под нагрузкой

Ключевые слова: рамная конструкция, эквивалентный модуль деформаций, деформационный расчет, составной упругопластический элемент

В работе излагается порядок расчета плоской рамы, включающей в себя составные стержневые элементы переменного сечения с ветвями, соединенными между собой по длине структурными связями в виде решетки из планок, раскосов, распорок, перфорированных листов и т. п. Проверка деформативности и несущей способности осуществляется на примере однопролетной рамы с жесткими узлами, имеющей произвольный неразветвленный ломаный контур. Рама имеет закрепления из своей плоскости в узлах и в промежутке между ними. Нагрузка, действующая на раму, вызывает в ее элементах в общем случае пространственный изгиб.

Расчетные формулы построены на основе использования приближенного выражения для кривизны оси стержней рамы. Для материала стержней устанавливается произвольная зависимость между деформациями и напряжениями. Влияние разгрузки не учитывается. Используется гипотеза плоских сечений. Учет деформаций

сдвига осуществляется способом, предложенным Ф. Энгессером и С. П. Тимошенко [1]. Не учитывается влияние касательных напряжений на развитие пластических деформаций. Геометрическая неизменяемость поперечного сечения стержней обеспечивается постановкой поперечных диафрагм жесткости.

Деформационный расчет рамы за пределом упругости производится методом шагового нагружения конструкции [2]. При расчете рамы на каждом $(\nu + 1)$ -м этапе нагружения используются полученные автором данной статьи в работе [3] формулы для определения эквивалентных модулей деформаций $E_{xj}^{эkv,(\nu+1)}$ и $E_{yj}^{эkv,(\nu+1)}$, учитывающих влияние деформаций сдвига.

$$E_{xj}^{эkv,(\nu+1)} = \frac{M_{xj}^{(\nu)} h_{yj}}{(\Delta \varepsilon_{12j}^{(\nu)} - \gamma_{1yj}^{(\nu)} Q'_{yj} h_{yj}) J_{xj}}, \quad (1)$$

$$E_{yj}^{\text{экв},(v+1)} = \frac{M_{yj}^{(v)} h_{xj}}{(\Delta \varepsilon_{23j}^{(v)} - \gamma_{1xj}^{(v)} Q_{xj}^{(v)} h_{xj}) J_{yj}}, \quad (2)$$

$$\Delta \varepsilon_{12j}^{(v)} = \varepsilon_{1j}^{(v)} - \varepsilon_{2j}^{(v)}, \quad \Delta \varepsilon_{12j}^{(v)} = \varepsilon_{1j}^{(v)} - \varepsilon_{2j}^{(v)}, \quad (3)$$

где $M_{xj}^{(v)}$ и $M_{yj}^{(v)}$ – изгибающие моменты в j -м сечении от внешней нагрузки, действующие соответственно в плоскости рамы и в плоскости перпендикулярной к плоскости рамы при v -м нагружении; $\varepsilon_{1j}^{(v)}, \varepsilon_{2j}^{(v)}$ и $\varepsilon_{3j}^{(v)}$ – краевые продольные относительные деформации в j -м сечении элемента при v -м нагружении рамы; h_{yj}, h_{xj} – высота j -го поперечного сечения элемента соответственно в плоскости и перпендикулярно плоскости рамы; $Q_{yj}^{(v)}$ и $Q_{xj}^{(v)}$ – поперечные силы, действующие в j -м сечении, соответственно в плоскости рамы и в плоскости перпендикулярной к плоскости рамы при v -м нагружении; γ_{1yj} и γ_{1xj} – углы сдвига соединительной решетки сквозного элемента от действия единичных поперечных сил соответственно $Q_{yj}=1$ и $Q_{xj}=1$ при v -м нагружении рамы (учет развития пластических деформаций производится по [4]); J_{xj} и J_{yj} – моменты инерции j -го поперечного сечения элемента.

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 v -м нагружении являются функциями усилий

$$\varepsilon_{1j}^{(v)} = \varepsilon_{1j}^{(v)}(M_{xj}^{\text{нн}(v)}, M_{yj}^{\text{нн}(v)} P_j^{\text{нн}(v)}), \quad (4)$$

$$\varepsilon_{2j}^{(v)} = \varepsilon_{2j}^{(v)}(M_{xj}^{\text{нн}(v)}, M_{yj}^{\text{нн}(v)} P_j^{\text{нн}(v)}), \quad (5)$$

$$\varepsilon_{3j}^{(v)} = \varepsilon_{3j}^{(v)}(M_{xj}^{\text{нн}(v)}, M_{yj}^{\text{нн}(v)} P_j^{\text{нн}(v)}), \quad (6)$$

где $M_{xj}^{\text{нн}(v)}$ и $M_{yj}^{\text{нн}(v)}$ – проекции вектора главного момента эпюры нормальных напряжений относительно центра тяжести j -го поперечного сечения, возникающего при v -м нагружении рамы; $P_j^{\text{нн}(v)}$ – главный вектор эпюры нормальных напряжений в этом сечении при v -м нагружении рамы.

Величины $M_{xj}^{\text{нн}(v)}, M_{yj}^{\text{нн}(v)}$ и $P_j^{\text{нн}(v)}$ определяются из уравнений равновесия

$$M_{xj}^{\text{нн}(v)} = M_{xj}^{(v)}, \quad M_{yj}^{\text{нн}(v)} = M_{yj}^{(v)}, \quad P_j^{\text{нн}(v)} = N_j^{(v)}, \quad (7)$$

где $N_j^{(v)}$ – продольная сила, действующая в j -м поперечного сечения стержневого элемента, возникающая при v -м нагружении рамы.

При известных величинах $M_{xj}^{\text{нн}(v)}, M_{yj}^{\text{нн}(v)}$ и $P_j^{\text{нн}(v)}$, используя (4), (5) и (6), можно найти в поперечном сечении относительные деформации $\varepsilon_{1j}^{(v)}, \varepsilon_{2j}^{(v)}$ и $\varepsilon_{3j}^{(v)}$.

Используя (1) и (2), можно выполнить силовой расчет рамы за пределами упругости одним из известных методов строительной механики.

В случае использования метода сил для расчета рассматриваемой рамы, элементы которой изгибаются только в плоскости рамы, основную систему можно получить путем отбрасывания левой опоры рамы и приложением вместо отброшенных связей (в сечении 0) неизвестных сил $X_1^{(v)}$ и $X_2^{(v)}$ и момента $X_3^{(v)}$. В результате основная система будет представлять собой ломаный консольный составной стержень переменного сечения по длине. Этот консольный стержень делится по длине на m (в общем случае неравных) частей. По длине каждого из участков стержня между сечениями j и $j-1$ физические и геометрические параметры рамы считаются по величине постоянными. Общий подход к деформационному расчету сжатого-изогнутого сплошного упругого ломаного консольного стержня переменного сечения изложен в [5].

На первом этапе нагружения рассматриваемой рамы незначительной нагрузкой при линейной зависимости между деформациями и напряжениями величина эквивалентного модуля деформаций $E_{xj}^{\text{экв}}$ будет отвечать линейной упругой работе материала и учитывать упругую работу соединительной решетки составных элементов рамы на сдвиг. При этих условиях осуществляется упругий расчет сдвигоподатливой рамы. В дальнейшем после расчета рамы по величине полученных в сечениях усилий $M_{xj}^{(v)}$ и $P_j^{(v)}$, используя зависимости (4)–(7), определяются величины относительных деформаций $\varepsilon_{1j}^{(v)}$ и $\varepsilon_{2j}^{(v)}$, уточняется величина $\gamma_{1yj}^{(v)}$ (учитывая развитие пластических деформаций по [4]), пересчитывается величина $E_{xj}^{\text{экв}(v)}$ и уже уточненная величина эквивалентного модуля деформаций используется для следующего этапа расчета рамы как упругой системы.

Для определения перемещений сечений основной системы рамы прямолинейные участки стержня рассматриваются как консольные стержни длиной l_j , защемленные в узле j и имеющие свободный конец в узле $(j-1)$. Свободный конец каждого из таких стержней будет нагружен продольной силой $N_j^{(v)}$, поперечной силой $Q_{j-1,j}^{(v)}$, перпендикулярной к недеформированной оси j -го стержня, и моментом $M_{j-1,j}^{(v)}$, передающимися на j -й стержень со стороны стержня $(j-1)$ и внешней нагрузки $F_{j-1}^{(v)}$, приложенной в сечении $(j-1)$. Силы и момент будут равны

$$S_j^{(v)} = X_1^{(v)} A_{Sj}^{(v)} + X_2^{(v)} C_{Sj}^{(v)} + F_{Sj}^{(v)}, \quad (8)$$

$$\bar{Q}_{j,j-1}^{(v)} = X_1^{(v)} A_{Qj}^{(v)} + X_2^{(v)} C_{Qj}^{(v)} + F_{Qj}^{(v)}, \quad (9)$$

$$M_{j-1,j}^{(v)} = X_1^{(v)} A_{Mj}^{(v)} + X_2^{(v)} C_{Mj}^{(v)} + X_3^{(v)} D_{Mj}^{(v)} + F_{Mj}^{(v)}. \quad (10)$$

В формулах (8), (9) и (10) коэффициенты при неизвестных и параметры $F_{Sj}^{(v)}, F_{Qj}^{(v)}, F_{Mj}^{(v)}$ учитывают соответственно преобразования, связанные с $X_1^{(v)}, X_2^{(v)}, X_3^{(v)}$ и внешними нагрузками

на длине рамы от сечения 0 до сечения $(j-1)$ при определении усилий.

Линейные и угловые перемещения свободно-го конца j -го стержня определяются по формулам

$$\delta_{j-1}^{(v)} = X_1^{(v)} A_{\delta,j-1}^{(v)} + X_2^{(v)} C_{\delta,j-1}^{(v)} + X_3^{(v)} D_{\delta,j-1}^{(v)} + F_{\delta,j-1}^{(v)}, \quad (11)$$

$$\alpha_{j-1}^{(v)} = X_1^{(v)} A_{\alpha,j-1}^{(v)} + X_2^{(v)} C_{\alpha,j-1}^{(v)} + X_3^{(v)} D_{\alpha,j-1}^{(v)} + F_{\alpha,j-1}^{(v)}. \quad (12)$$

В формулах (11) и (12) коэффициенты при неизвестных и параметры $F_{\delta,j-1}^{(v)}$, $F_{\alpha,j-1}^{(v)}$ учитывают соответственно преобразования, связанные с $X_1^{(v)}$, $X_2^{(v)}$, $X_3^{(v)}$ и внешними нагрузками на длине арки от сечения 0 до сечения $(j-1)$ при определении перемещений.

Приравняв перемещения сечения 0 консоли стержня к нулю, получаем систему из трех уравнений для определения неизвестных $X_1^{(v)}$, $X_2^{(v)}$, $X_3^{(v)}$ с учетом линейных и угловых перемещений поперечных сечений рассматриваемой рамы.

В процессе описанного расчета на каждом v -м этапе нагружения проверяется устойчивость рамы в своей плоскости методом, изложенным в [6]. Для рассматриваемой рамы со-

ставляется и варьируется система уравнений равновесия в сечениях рамы

$$\delta M_j = \delta M_{xj}^{en}, \quad \delta P_j^{en} = 0, \quad (13)$$

где δM_j – вариация моментов внешних сил относительно центра тяжести j -го поперечного сечения;

$$\delta M_j^{en} = \frac{\partial M_j^{en}}{\partial \varepsilon_{1j}} \delta \varepsilon_{1j} + \frac{\partial M_j^{en}}{\partial \varepsilon_{2j}} \delta \varepsilon_{2j}, \quad (14)$$

$$\delta P_j^{en} = \frac{\partial P_j^{en}}{\partial \varepsilon_{1j}} \delta \varepsilon_{1j} + \frac{\partial P_j^{en}}{\partial \varepsilon_{2j}} \delta \varepsilon_{2j}. \quad (15)$$

В определитель системы (13), составленный из коэффициентов при вариациях независимых переменных, подставляются параметры напряженно-деформированного состояния, полученные из деформационного расчета рамы. В случае равенства нулю указанного определителя или смены знака его численного значения регистрируется величина критической нагрузки. Если устойчивость рамы обеспечена, производится перерасчет величины $E_{xj}^{экр(v)}$ для следующего этапа нагружения рамы и производится вновь ее деформационный расчет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимошенко С. П. Устойчивость упругих систем. М., Л.: ОГИЗ – Гостехиздат, 1946. С. 133.
2. Биргер И. А. Общие алгоритмы решения задач теории упругости, пластичности и ползучести // Успехи механики деформируемых сред. М.: Наука, 1975. С. 61–73.
3. Рочев А. А. Исследование несущей способности сквозных упругопластических статически неопределимых рам переменного сечения // Труды молодых ученых: в 3 ч. Часть 1. СПб: СПбГАСУ, 2000. С. 187–192.
4. Рочев А. А. Исследование устойчивости стальных перфорированных внецентренно сжатых стержней в упругопластической стадии // Металлические конструкции и испытания сооружений: межвузовский тематический сб. трудов. №1 (134). Л.: ЛИСИ, 1977. С. 119–123.
5. Пиковский А. А. Статика стержневых систем со сжатыми элементами. М.: Физматгиз, 1961. 394 с.
6. Санжаровский Р. С. Устойчивость элементов строительных конструкций при ползучести. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. 280 с.

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 1. СТРУКТУРА НАСЕЛЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ГНЕЗДОВАНИЯ**

На основе исследований 1979–2004 гг. подробно описана популяционная экология большой синицы в Карелии. Приведены сведения по структуре гнездового населения, биологии гнездования и динамике численности птиц. Выявлены существенные отличия исследованной популяции от популяций центральной и западной Европы, в первую очередь по характеру действия зависящих от плотности механизмов регуляции численности, степени воздействия на птиц погодных условий и ряду других параметров. Выявлены и проанализированы основные факторы, определяющие динамику обследованной популяции.

Ключевые слова: большая синица, *Parus major*, таежные леса, плотность населения, биология гнездования, механизмы регуляции численности

ВВЕДЕНИЕ

Ареал номинального подвида большой синицы включает в себя почти всю Европу и значительную часть Азии, по широте он растянут от Турции до севера Скандинавии, а по долготе – от Атлантического океана до побережья Охотского моря [1]. Условия обитания птиц на такой обширной территории самые разнообразные, и поэтому ответ разных популяций на изменение внешних факторов может существенно различаться. В этой связи большой интерес представляет сравнительный анализ экологии и динамики популяций из разных частей ареала для выявления как общих закономерностей, так и особенностей, связанных с локальными условиями. Большинство детальных исследований по биологии большой синицы проведено на птицах номинального и британского подвида в европейских широколиственных и сме-

шанных лесах [2, 3, 4, 1, 5 и др.]. Настоящая работа посвящена подробному анализу экологии популяции в лесах таежной зоны Европейской России, в условиях, существенно отличающихся от центральных частей видового ареала по климату, характеру растительности и ряду других параметров.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Работа выполнена в 1979–2004 гг. на стационаре Маячино Института биологии Карельского научного центра РАН (60° 46' с. ш., 32° 48' в. д.), расположенном на юго-восточном берегу Ладожского озера (Олонецкий район Карелии). Район исследований относится к подзоне средней тайги. Ландшафт здесь сильно заболоченный: древостой с сухими почвами занимают 8 % площади, а основная их часть расположена на свежих и влажных или сырых и мокрых поч-

вах. Среди лесов преобладают сосняки, они занимают 65 % лесопокрытой площади, ельники занимают 16 %, осинники – 10 %, березняки – 8 % и ольшанники – 1 %. Сильная антропогенная трансформация территории привела к существенному изменению возрастной структуры древостоев, при этом их породный состав за последние 125–135 лет претерпел меньшие изменения, т. к. на местах рубок сосновых лесов обычно вырастают сосновые и сосново-лиственные молодняки, а ельники восстанавливаются через стадию лиственного леса [6].

Для обследуемой территории и всего региона характерна продолжительная, но относительно мягкая зима и прохладное лето. Снежный покров лежит около 125 дней, температуры выше 0°C держатся в среднем 205 дней в году (с 10 апреля по 1 ноября), а выше +5°C – 160 дней (с 29 апреля по 6 октября). Апрель довольно прохладный, средняя многолетняя температура этого месяца на широте Петрозаводска всего 1.2°C, что несколько ниже температуры самого холодного месяца года на юге Англии, в Голландии, в равнинных частях Швеции и некоторых других областях ареала большой синицы [7]. Весенняя погода неустойчивая, что обусловлено чередованием вторжений воздушных масс из Атлантики и Арктики [8, 9]. В связи с этим здесь отмечается повышенная, по сравнению с центральными областями России, нестабильность сроков многих фенологических явлений [10].

Для привлечения птиц использовались дощатые синичники обычных размеров [11]. Они были вывешены в характерных для региона типах леса, основная масса в спелых сосновых (7 С, 2 Е, 1 Б) и сосново-березовых лесах разного возраста (5 С, 5 Б), часть в спелых ельниках (7 Е, 2 С, 1 Б), елово-сосновых (4 Е, 3 С, 2 Б, 1 Ол) и лиственно-хвойных лесах (3 Б, 2 Ол, 2 Ос, 2 Е, 1 С) и черноольшанниках (8 Ол, 1 Е, 1 Б). Первые 150 синичников вывешены в 1979 г., еще 200 штук – в 1980, в последующие годы число пригодных для синиц гнездовий изменялось от 270 до 400 (рис. 1). Большинство из них было размещено линиями вдоль дорог, квартальных просек и мелиоративных канав, с интервалом в 20–100 м, в среднем около 40 м. Кроме того, были заложены 3 площадки по 15, 25 и 50 гнездовий с плотностью развески около 10 синичников на 1 га. Участки развески располагались на территории около 10 км² в сплошном лесном массиве в 25 км от небольшого города Олонца. Для оценки плотности гнездового населения учитывали только площадь ближайших окрестностей гнездовий. При развеске линией в расчет включали 100 м полосу вдоль нее (по 50 м с каждой стороны), а к ее протяженности добавляли 100 м (по 50 м от крайних синичников). При развеске площадками в расчет включали 50 м полосу, прилегающую к крайним рядам гнездовий. С 1980 г. площадь, занятая гнездовьями,

составляла 120–170 га, в среднем – 145 га. Данные о числе гнездовий по биотопам и их заселенности большой синицей приведены в табл. 1.

Ежегодно прослеживали судьбу всех гнезд, фиксировали сроки начала и величину кладки, успешность инкубации и выкармливания, проводили практически сплошное мечение птенцов. Взрослых птиц (87 % самок и 84 % самцов) отлавливали на гнездах во время выкармливания 7–14 - дневных птенцов и метили стандартными кольцами. Их возраст определяли по контрасту кроющих перьев крыла [12, 13].

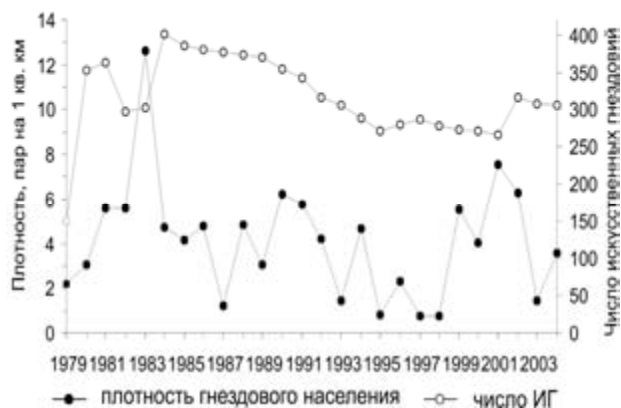


Рис. 1. Число искусственных гнездовий и плотность гнездового населения большой синицы в Приладожье в 1979–2004 гг.

Таблица 1
Заселенность искусственных гнездовий и плотность гнездового населения большой синицы в разных биотопах Приладожья в 1979–2004 гг.

Биотопы	Число ИГ	Площадь, занятая ИГ, га	Гнезди́лось пар	Заселенность (пар на 100 ИГ)	Плотность пар/км ²
Черноольшанники	664	318.8	11	1.66	3.45
Ельники	909	636.9	6	0.66	0.94
Елово-сосновые леса	542	239.4	9	1.66	3.76
Лиственно-хвойные леса	1991	720.6	54	2.71	7.49
Сосняки	871	563.6	9	1.03	1.60
Сосново-лиственные	1931	713.6	48	2.49	6.73
Молодняки сосново-лиственные	348	154.8	6	1.72	3.88
Припевающие сосново-лиственные	655	240.1	8	1.22	3.33
Всего за 1979–2004 гг.	7911	3587.8	151	1.91	4.21

В 1979–2004 гг. в синичниках гнездились 159 пар птиц (от 1 до 18 пар в год), у них была прослежена судьба 235 гнезд. Ежегодные сроки начала размножения определяли по появлению 1 яйца в наиболее раннем гнезде. Средние ежегодные даты начала размножения популяции рассчитывали по принятой у западноевропейских орнитологов методике [14] – по кладкам, начатым в течение 30 дней после появления наиболее ранней в сезоне, без учета повторных и вторых гнезд. Успешность размножения оценивали по относительному числу гнезд, сохранившихся до вылета птенцов, а также по соотношению числа слетков, покинувших синичники, и суммарного числа отложенных яиц. Отдельно определяли эмбриональную смертность (отход яиц без учета погибших кладок) и частичный отход птенцов (без учета погибших выводков). Общую успешность насиживания и выкармливания оценивали с учетом гибели кладок и выводков. Среднюю величину выводка рассчитывали только для гнезд, из которых вылетел по крайней мере 1 птенец. Продуктивность размножения определяли по соотношению числа слетков, покинувших синичники, и числа гнездившихся в них самок. Предварительные итоги исследований гнездовой биологии опубликованы ранее [15].

Принято считать, что изменения численности птиц в искусственных гнездовьях отражают реальное состояние популяции на сопредельных участках леса. Для исследуемого региона характерна очень низкая плотность населения большой синицы (табл. 1), из-за чего объем собранного материала по годам был невелик, несмотря на значительную площадь контролируемой территории и большое число синичников, и не всегда мог служить основой для полноценного статистического анализа. Поэтому некоторые заключения относительно отдельных факторов, влияющих на динамику местного населения, основаны на обнаруженных тенденциях, и их следует рассматривать как предварительные, требующие дополнительной проверки.

Для характеристики погоды использованы данные метеостанции Олонец, расположенной в 25 км к северо-востоку от центра территории, где были развешаны гнездовья: среднемесячные и суточные температуры воздуха. Следует отметить, что эти показатели не дают точного представления о микроклимате в гнездовых стациях, а лишь отражают общую тенденцию изменений погоды в районе исследований.

При обработке данных пользовались обычными методами вариационной статистики [16, 17]. Для оценки связи и зависимости переменных применяли корреляционный анализ (коэффициент Браве-Пирсона) и пошаговый многофакторный регрессионный анализ. При оценке различий признаков, выраженных в процентах, пользовались критерием Фишера с фи-преобразованием.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Плотность гнездового населения

На участках развески искусственных гнездовых плотность населения большой синицы колебалась по годам от 0.8 до 12.6 пары/км² и в среднем составляла 4.2 пары/км² (рис. 1). Наиболее охотно птицы заселяли синичники, вешенные в спелых хвойно-лиственных лесах со значительной примесью или преобладанием (40–70 %) мелколиственных пород: березы, осины, ольхи (табл. 1). Максимальная для района исследований плотность населения зарегистрирована в спелых сосново-лиственных лесах: во время пика численности в 1983 г. она составила 24.4 пары/км² (8 пар на 94 гнездовья). Несколько реже птицы заселяли чистые черноольшанники, сосново-лиственные приростающие древостои и молодняки, а также хвойные леса с небольшой примесью лиственных пород. Наименее привлекательными для них были чистые ельники и сосняки, в которых они в годы низкой численности (менее 3 пар/км²) не селились вовсе.

Как и в других частях ареала [2, 18, 4, 19, 1 и др.], в Приладожье прослеживается характерное для большой синицы предпочтение древостоев с преобладанием лиственных пород. Исключение составляют спелые черноольшанники, в которых птицы селятся менее охотно, чем в березово-хвойных лесах, что связано с поздними сроками распускания листьев на ольхе и малой привлекательностью этого биотопа ранней весной.

В условиях северо-запада России большая синица предпочитает гнездиться в лесах, расположенных поблизости от зимовочных стаций. Поэтому максимальная плотность гнездового населения в Ленинградской области (30–40 пар/км²) и в Карелии (28 пар/км²) отмечается в смешанных древостоях в окрестностях населенных пунктов или в старых городских парках [20, 21]. Известно, что в исследуемом регионе в удаленных от жилья человека лесах синицы обычно не зимуют и с невысокой плотностью заселяют их в гнездовой период, поэтому в оптимальных для птиц стациях, в окрестностях крупных городов, они занимают 80–90 % искусственных гнездовых, а в глубине лесных массивов – только 2–10 % [22, 23]. В естественных условиях в лесах Приладожья плотность населения этого вида невысока, в преобладающих здесь сосняках разного типа она колеблется от 0.4 до 6.3 пар/км² [6]. Судя по данным табл. 1, развеска гнездовых в таких местообитаниях не приводит к заметному увеличению численности птиц. Несмотря на то что синицы охотно селятся в искусственных гнездовьях, с равной вероятностью они выбирают для размножения и свободные естественные дупла. В отличие от мухоловки-пеструшки, плотность населения которой во многом определяется наличием пригодных

для гнездования дупел и резко возрастает при развеске синичников, у большой синицы этот фактор не оказывает существенного влияния на динамику популяции. В удаленных от населенных пунктов лесах таежной зоны плотность гнездового населения этих птиц невысока, поэтому они не испытывают недостатка в свободных дуплах, и только в молодняках развеска гнездовой ведет к росту численности синиц [19].

Структура гнездового населения

Анализ возрастного состава гнездового населения показывает, что его основа формируется из птиц-первогодков, птицы старших возрастных групп составляют 48.4 % среди самцов и 24.4 % среди самок (рис. 2). Сходное соотношение возрастных групп наблюдается на побережье Ладожского озера и в предгнездовой период в марте–апреле, когда доля первогодков составляет 53 % среди самцов и 72 % среди самок [22]. Очевидно, наши данные отражают реальное распределение синиц по возрасту в лесах Приладожья. По происхождению большинство гнездящихся в синичниках птиц были иммигрантами, впервые поселяющимися здесь и родившимися за пределами контролируемой территории. Особи, обитавшие на контролируемой территории ранее, – резиденты – составили всего 8.3 %, а птицы местного происхождения – лишь 2.5 % населения (рис. 3). По этому соотношению обследуемая популяция сильно отличается от оседлых популяций европейских широколиственных лесов, где иммигранты составляют от 20 % до 57 % гнездового населения, а на долю особей местного происхождения обычно приходится более 25 % [2, 4, 24, 25].

Сроки размножения

В Приладожье большие синицы обычно приступают к размножению в конце апреля – начале мая. Начало первой в сезоне кладки в разные годы регистрировалось с 22 апреля (1983 г.) по 25 мая (1997 г.), в среднем – 7 мая. Весь период начала размножения растянут почти на 3 месяца, как за счет наличия второго цикла гнездования у значительной части птиц, так и за счет кладок возобновления после гибели гнезд (рис. 4).

На большей части ареала для большой синицы характерно бициклическое размножение [26, 1]. В районе исследований ежегодно от 0 до 100 %, в среднем 47,8 % (n=116), пар после успешного выкармливания первого выводка приступало ко второй кладке.

По нашим данным сроки начала кладок первого цикла в разные годы колеблются с 22 апреля по 26 мая (средняя дата – 8 мая, n=65), вторых – с 6 июня по 15 июля (средняя дата – 23 июня, n=55). Повторные кладки отмечались в период с 1 мая по 25 июля, после гибели как первых, так и вторых гнезд. В сходные сроки птицы приступают к гнездованию и в других пунктах юга

Карелии: в районе 61.5–62.5° с. ш. начало размножения длится с 30 апреля по 18 июля [19].

Средняя за 1979–2004 гг. дата начала кладок, появившихся в течение 30 дней после появления наиболее ранней в сезоне, – 10 мая (n=145).

Данные по срокам гнездования вида в южной Карелии укладываются в общую схему, описанную Гопкинсом [27, 28], сроки фенологических явлений при продвижении к северу в целом запаздывают.

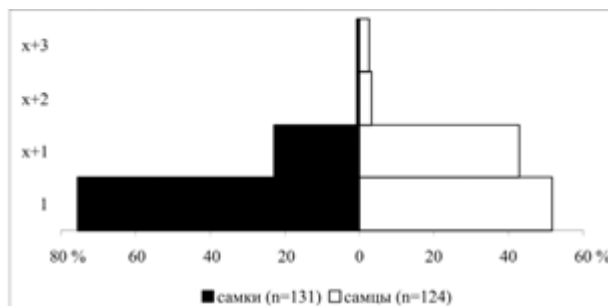


Рис. 2. Возрастная пирамида гнездового населения большой синицы в Приладожье в 1979–2004 гг.

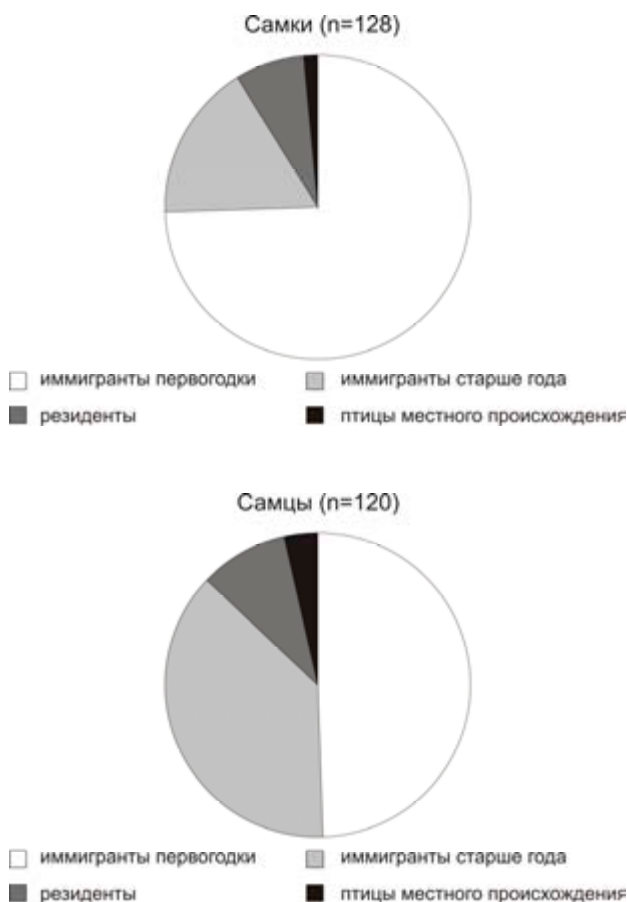


Рис. 3. Структура гнездового населения большой синицы в Приладожье в 1981–2004 гг.

В то же время анализ материалов по изменениям средних дат гнездования птиц на широте 60–61° показывает, что существенных сдвигов времени размножения по долготе нет (табл. 2), несмотря на более мягкий климат и высокие весенние температуры в западных областях ареала.

Известно, что в разных частях ареала сроки гнездования синиц во многом определяются ходом температур воздуха, а также развитием весенних фенологических явлений [2, 27]. В Приладожье наиболее значимая корреляция сроков гнездования птиц выявлена со среднемесячной температурой апреля (табл. 3), тогда как связи с температурами других месяцев не обнаружено. Весной на вегетацию растительности умеренных широт наиболее сильно действуют так называемые «эффективные» температуры воздуха – превышающие +5°C [31]. Поэтому нами предпринята

попытка определить связь сроков размножения птиц с ходом температур, превышающих +5°C. Наиболее тесная корреляция выявлена между сроками появления первой в сезоне кладки и средней даты начала гнездования популяции с датой накопления суммы эффективных температур 50°C, хотя интервал между этими событиями сильно варьировал в разные годы. Чуть более слабая связь названных параметров выявлена и с датой устойчивого перехода минимальных температур через 0°C, и с датой накопления суммы положительных температур 100°C.

Известно, что сроки гнездования птиц умеренных и высоких широт контролируются эндогенной программой, которая запускается при пороговом для каждого вида изменении фотопериода [32, 33]. У большой синицы выявлены популяционные различия фотопериодических

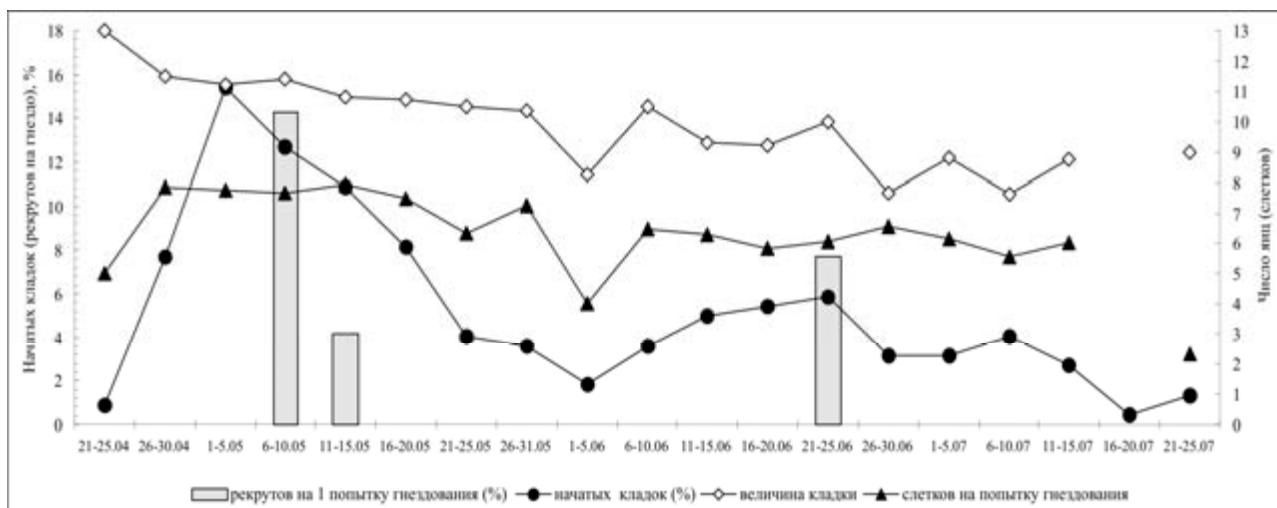


Рис. 4. Влияние сроков гнездования на величину кладки, выводка и число рекрутов у большой синицы в Приладожье в 1979–2004 гг.

Таблица 2

Основные параметры размножения большой синицы в европейской части ареала на широте 60–61°

Место и годы исследований	Координаты и высота над ур. моря	Первые и ранние кладки		Число вторых кладок, %	Автор
		средняя дата начала (1–1 мая)	среднее число яиц		
Норвегия, Серкедал 1968–1974	60° с.ш., 11° в.д.; 200 м	11.7 (35)*	–	–	Slagsvold, 1976 [27]
Швеция, Тэрнсю 1952–1963, 1972–1974.	60° 19' с.ш., 16° 56' в.д.; 200 м	–	8.2 (400)	18.5	Johansson, 1974 [29]
Финляндия, Лемсйохолм 1953–1967	60° 30' с.ш., 22° в.д.; 50 м	10.7 (225)	9.9 (225)	20.2	Haartman, 1969 [30]
Россия, Карелия, Маячино 1979–2004	60° 46' с.ш., 32° 48' в.д.; 20 м	10.1 (141)	11.1 (122)	47.8	Наши данные

* в скобках – число гнезд

Таблица 3

Связь сроков гнездования большой синицы и некоторых показателей весенней погоды в Приладожье в 1980–2002 гг.

Показатель	Начало 1 в сезоне кладки	Средняя дата начала кладки
Среднемесячная температура марта	$r=-0.16$, n.s.	$r=-0.12$, n.s.
апреля	$r=-0.62$, $p<0.01$	$r=-0.69$, $p<0.001$
третьей декады апреля	$r=-0.57$, $p<0.01$	$r=-0.7$, $p<0.001$
Дата накопления суммы эффективных температур 50°C	$r=0.71$, $p<0.001$	$r=0.84$, $p<0.001$
суммы положительных температур 100°C	$r=0.59$, $p<0.01$	$r=0.67$, $p<0.01$
Дата перехода минимальных температур через 0°C	$r=0.64$, $p<0.01$	$r=0.63$, $p<0.01$

порогов начала развития репродуктивного состояния, более низких у птиц северных широт [34]. При этом фотопериод контролирует только «окно» возможного времени начала гнездования, а конкретные сроки корректируются на основе дополнительных внешних стимулов: фенологического развития растительности, хода температур воздуха, состояния кормовой базы, социального поведения и др. [4, 35, 36, 37].

О влиянии температуры на сроки гнездования известно давно, но до сих пор нет общего мнения относительно того, как она действует на птиц: непосредственно на физиологию и развитие репродуктивного состояния или на бюджет энергии через развитие растительности и кормовой базы. Ван Бален [38] установил, что температура действует опосредованно, и синицы реагируют не на нее, а на сроки вылупления из яиц и обилие мелких гусениц. Позднее в экспериментах на скворцах Мейер с соавторами [39] подтвердили предположение Клюйвера [2] о прямом действии температуры на сроки начала кладки. По мнению Нагера [40], в природе этот фактор оказывает на птиц как прямое, так и опосредованное влияние. При этом ответная реакция на него особой из разных популяций существенно различается. В Голландии и Великобритании на сроки размножения больших синиц влияли температуры за 2 месяца до начала кладки, в Швейцарии и Германии – за 1.5 месяца, а в Скандинавии и Карелии лишь за предшествующий месяц [2, 38, 4, 30, 27, 40, 41, наши данные]. Везде гнездование обычно отмечалось после кратковременного потепления, но температурные пороги начала размножения в разных точках ареала различались, понижаясь в направлении с юго-запада на северо-восток [42, 43, 27, 44]. Даже в одной местности они сильно варьируют по годам, так что в условиях сурового

и нестабильного климата практически невозможно выделить строгий температурный показатель старта размножения популяции [26, 5, 36, наши данные]. В Приладожье в разные годы в день начала 1 в сезоне кладки среднесуточная температура воздуха колебалась от 2.2 до 14.3°C, а в среднем составила 9.0°C. «Дата детерминанта» (determinant date) – показатель, предложенный Клюйвером [2] как условное время старта быстрого развития ооцитов у большинства самок (день за 4 суток до средней даты начала кладки популяции), – в районе исследований в разные годы отмечалась с 27 апреля по 21 мая (в среднем – 8 мая). В этот день температура воздуха составила в среднем 8.7°C, однако пороговой ее назвать нельзя, так как по годам она колебалась от –0.4 до 14°C. Срок накопления суммы эффективных температур 50°C совпадал с «датой детерминанта» и в среднем наступал 8 мая с вариациями по годам от 23 апреля до 19 мая. И хотя различия во времени наступления этих событий в отдельные годы достигали 9 дней, данный фенологический показатель наиболее значимо влиял на птиц исследуемой популяции.

Анализ данных по Карелии не выявил значимых долгосрочных изменений сроков гнездования синиц. Глобальное потепление климата, существенно влияющее на сроки размножения птиц Западной Европы [45, 46, 14], пока еще не сказывается на биологии гнездования большой синицы в Приладожье. Это связано с тем, что в нашем регионе за последние 50 лет более теплой стала зима и повысились температуры воздуха в марте [47], в то время как апрельские и майские температуры, наиболее сильно влияющие на весеннюю фенологию, изменились незначительно. Так за период 1980–2002 гг. среднемесячная температура апреля имела незначимую тенденцию к росту ($r=0.35$ n.s.), а температура мая – такую же обратную ($r=-0.28$ n.s.). Соответственно и сроки гнездования птиц за этот период практически не изменились ($r=-0.21$ n.s.). Подобное явление отмечено в Подмоскowie и в северной Финляндии, где у большой синицы, по сравнению с более западными частями ареала, предгнездовой период также не стал заметно теплее [48].

Сроки размножения большой синицы в разных биотопах Приладожья довольно близки, поэтому на наших материалах значимых различий между лесами разного типа не выявлено (табл. 4). Однако суммарно птицы, селящиеся в практически чистых ельниках и сосняках, приступали к гнездованию в среднем на 7 дней позже, чем в смешанных и лиственных древостоях ($F=6.5$, $p<0.05$). Вероятно, это связано с тем, что ранней весной хвойные леса менее проницаемы для солнечных лучей, снег здесь сходит несколько позднее, почва прогревается медленнее и фенологическое развитие растительности запаздывает по сравнению с другими станциями. В других пунктах южной Карелии В. Б. Зимин

(1978) [19] обнаружил значимые различия только между спелыми лиственными древостоями и сосново-лиственными молодняками. Следует отметить, что биотопические различия в сроках размножения не всегда отчетливо проявляются и в других частях ареала. В центральной Европе более раннее гнездование отмечено в городских парковых насаждениях по сравнению с лесами и древостоями в сельской местности [1]. В Англии в садах синицы начинают гнездиться раньше, чем в лесах и парках, а в хвойных и лиственных древостоях сроки размножения не различаются [49]. Такую же тенденцию выявил Клюйвер (1951) [2] в Голландии, однако позднее там были обнаружены различия в сроках размножения птиц в дубовых и сосновых лесах [38]. В Средиземноморье в листопадных дубовых лесах птицы начинают гнездиться раньше, чем в вечнозеленых [50]. В целом подобные различия чаще всего проявляются в контрастно различающихся местообитаниях, причем в каждом случае они обусловлены действием разных локальных факторов, таких как искусственное освещение в городах, дополнительная подкормка птиц в садах или особенности фенологии и динамики кормовой базы в естественных стациях.

В Приладожье у самок большой синицы слабо выражены возрастные различия сроков размножения (табл. 5). Как и многие другие воробьиные птицы таежной зоны [36], синицы разного возраста приступают к гнездованию практически одновременно, и основная часть популяции ежегодно начинает размножение в сжатые сроки. Известная закономерность раннего гнездования старых самок по сравнению с первогодками в Карелии и Финляндии не подтверждается, более того, имеет место обратная тенденция: самки-первогодки приступают к откладке яиц наиболее рано [36, 30, наши данные].

Разница в датах начала кладки годовалых и более старых птиц в Приладожье и южной Финляндии (Лемсйохолм) в среднем составляла 1 день, но из-за небольшого объема материалов не была значимой. В Западной Европе самки старших возрастных групп, как правило, гнездятся раньше первогодков, причем в южных частях ареала эта разница в сроках увеличивается. Так в Швейцарии она достигала 4.2 дней [37], в Голландии отмечалась не ежегодно и составляла 2.1 дня [2], в южной Англии около 1 дня [4], а в южной Швеции и в Польше небольшие различия проявлялись лишь в отдельные годы [51].

На сроки размножения птиц в районе исследований существенное влияние оказывал и возраст самца: пары с самцами-первогодками обычно гнездились на 1–4 дня позже, чем с более старыми партнерами (табл. 5). И хотя в Карелии эта тенденция прослеживалась во всех комбинациях возраста партнеров, значимые различия выявлены только между группами «старый самец – самка-первогодок» и «самец-первогодок – самка любого возраста» ($t=2.01$; $p<0.05$). По-видимому, возрастные различия сроков гнездования, отчетливо проявляющиеся в более южных частях ареала [52, 53], в Приладожье сглаживаются и затушевываются на фоне действия внешних факторов, в первую очередь нестабильной весенней погоды.

Известно, что сроки размножения синиц приурочены ко времени максимального обилия корма для птенцов, но они также зависят и от обеспеченности пищей самки в период кладки [3, 49, 4]. На размножение птиц влияют качество гнездового участка и индивидуальные характеристики самца: его половая активность, стимулирующая развитие репродуктивной системы партнерши, и интенсивность кормлений ухаживания, служащих дополнительным источником энергии для самки в период формирования кладки. Обычно самцы

Таблица 4

Основные показатели первого цикла размножения и частота вторых кладок в разных биотопах Приладожья в 1979–2004 гг.

Биотопы	Дата начала кладки (1 – 1 мая)	Число гнезд	Величина первой кладки	Величина первого выводка	Число успешных первых кладок	Число вторых кладок, %
Черноольшанники	9.8±2.1	10	10.9±0.7	8.8±0.5	8	25
Ельники	14±3.7	5	11±0.6	8.5±0.5	4	50
Елово-сосновые леса	6±4.5	6	11.6±0.2	11.2±0.2	5	20
Лиственно- хвойные леса	9.4±1.3	50	11.1±0.2	9.4±0.3	39	46.2
Сосняки	16.4±3.1	9	10.9±0.5	8.9±0.5	7	42.9
Сосново-лиственные леса	7.7±1.2	46	11±0.2	8.9±0.4	42	54.8
Молодняки сосново-лиственные	10.3±3.8	6	10.7±0.4	9.2±0.4	5	80
Приспевающие сосново-лиственные	8.8±1.5	8	11.5±0.4	9.5±0.9	6	50

Таблица 5

Возраст партнеров и основные показатели первого цикла размножения

Возраст		Число пар	Дата начала кладки		Величина полной кладки		Величина выводка	
самки	самца		пределы	средняя	пределы	средняя	пределы	средняя
1 год	все	87	25.04-1.06	8.90* ±0.92	7-13	11.19 ±0.14	4-13	9.42 ±0.21
x+n	все	29	22.04-29.05	9.97 ±1.58	6-15	10.86 ±0.33	4-11	8.33 ±0.39
все	1 год	58	27.04-1.06	10.45** ±1.07	6-15	10.91 ±0.21	4-12	9.09 ±0.26
все	x+n	56	25.04-29.05	8.11 ±1.16	7-13	11.15 ±0.17	4-13	9.22 ±0.28
1 год	1 год	43	28.04-1.06	10.44 ±1.26	7-13	11.07 ±0.19	4-12	9.41 ±0.28
1 год	x+n	40	25.04-27.05	6.95 ±1.37	7-13	11.33 ±0.22	4-13	9.43 ±0.33
x+n	1 год	13	27.04-28.05	11.15 ±2.27	6-15	10.54 ±0.64	4-12	8.08 ±0.62
x+n	x+n	12	2.05-22.05	9.92 ±2.12	8-11	10.58 ±0.26	6-11	8.55 ±0.56

* за 1 принято 1 мая

** значимые различия выделены жирным шрифтом

старших возрастных групп занимают лучшие территории и отличаются от первогодков более ранним началом половой активности. Вероятно, в условиях холодной и нестабильной весенней погоды в Приладожье самки испытывают определенные трудности в поддержании положительно-энергетического баланса во время формирования кладки, и поэтому возраст самца, его индивидуальные качества и способность выбрать хорошую территорию оказывают существенное влияние на сроки начала гнездования. В условиях мягкого климата и теплых весен южной Голландии возраст самца не сказывался на сроках размножения [2]. Подобное явление наблюдалось и в южной Англии в 1947–1964 гг. [4], однако поздняя связь возраста самца со сроками гнездования там проявилась [52]. В южной Швеции и в Польше в отдельные годы такая взаимосвязь также имела место [51].

Тот факт, что на наших широтах старые самки гнездятся несколько позже первогодков, может свидетельствовать о более точном определении ими сроков будущего обилия корма для птенцов. Известно, что в нестабильных условиях весны и раннего лета в таежной зоне раннее гнездование не всегда бывает наиболее продуктивным [36]. В литературе есть сведения о том, что с возрастом птицы способны корректировать сроки размножения, так как на основе собственного опыта они точнее определяют время появления пика гусениц [37]. Возможно, что самки-первогодки приступают к размножению максимально рано, как только им позволяет физиология и состояние кормовой базы, а птицы старших возрастных групп начинают гнездиться в наиболее благоприятные для будущего потомства сроки.

Величина кладки

Снижение величины кладки в течение сезона размножения, отмеченное во многих частях ареала, до недавнего времени считалось правилом для большой синицы [2, 4, 54, 45 и др.]. Позднее было обнаружено, что в некоторых биотопах кладка увеличивается к середине или к концу сезона, и тренд ее изменений, как и у ряда других видов птиц, зависит от внешних условий и от особенностей популяции [38, 1, 55].

В условиях Карелии величина полной кладки у большой синицы в течение сезона уменьшалась (рис. 4). Эта зависимость удовлетворительно описывалась уравнением линейной регрессии $y = 11.51 - 0.043x$ ($R^2 = 33.5\%$), где y – число отложенных яиц, а x – дата начала кладки (1 – 1 мая). При этом величина кладок, начатых в апреле-мае в меньшей степени зависела от календарных сроков ($r = -0.28$, $p < 0.001$), чем поздних, отложенных в июне-июле ($r = -0.46$, $p < 0.001$), что можно объяснить нестабильностью погодных и кормовых условий в начале сезона размножения.

У пар, дающих два вывода за сезон, первые гнезда содержали 7–13, в среднем 11.2 ± 0.1 яиц ($n = 61$), вторые – 6–12, в среднем 9.3 ± 0.3 яиц ($n = 41$). Ранние кладки птиц с одним циклом размножения состояли из 6–15, в среднем 11.0 ± 0.2 яиц ($n = 64$), а повторные, начатые в разные сроки взамен утраченных, – из 1–14, в среднем 9.6 ± 0.5 яиц ($n = 23$). Годовые вариации среднего числа яиц в первых и ранних гнездах были связаны с датой начала первой в сезоне кладки ($r = 0.43$, $p < 0.05$), но связь этого параметра со средней датой начала размножения популяции оказалась незначимой ($r = 0.32$, n.s.).

Зависимости величины первых и ранних кладок от биотопа в Приладожье не выявлено: в лесах разного типа этот показатель менялся, но небольшие отличия во всех случаях оказались незначимыми (табл. 4). В отличие от западной и южной Европы, где биотопические различия величины кладки отчетливо проявляются [2, 4, 38, 50, 56], на севере они сглаживаются и могут, как показывают данные Л. Хаартмана [30], вовсе отсутствовать. В Карелии такие различия отмечены только между маргинальными и оптимальными для вида стадиями: сосново-лиственными молодняками и спелыми лиственными лесами [19], а в Финляндии они обнаружены лишь в пригородах Оулу, на участках, существенно отличающихся по составу древостоев и плотности гнездового населения синиц [57].

Плотность гнездового населения в разных биотопах Приладожья не влияла на число яиц в первых и ранних гнездах ($r=0.01$, n.s.). Средняя величина кладки была прямо связана с численностью большой синицы на контролируемой территории ($r=0.42$, $p < 0.05$). Как отмечалось ранее, снижения величины кладки при повышении плотности гнездового населения не наблюдается ни в южной Финляндии, ни в Карелии [30, 58, 36, наши данные]. Это связано с тем, что в лесах таежной зоны, плотность населения большой синицы значительно меньше критического уровня, при котором включаются популяционные механизмы регуляции численности, в том числе и сокращения числа откладываемых яиц. Как показал Клуйвер [2] в Голландии эти механизмы начинают действовать, когда плотность гнездового населения превышает 40 пар/км², но в нашем регионе она не достигает этой величины даже в оптимальных стадиях [21].

В западноевропейских популяциях взрослые самки продуцируют кладки большей величины, чем первородки [2, 4, 49]. Такая тенденция сохраняется и на юге Финляндии, однако различия уменьшаются и становятся незначимыми [30]. В Приладожье самки первородки при сходных сроках гнездования откладывали чуть больше яиц, чем старые особи, и хотя различия в величине кладки не были значимыми, в величине выводка они проявились отчетливо. При этом возраст самца на величину кладки и выводка не влиял вовсе (табл. 5). Годовые изменения возрастного состава гнездового населения не сказывались на динамике величины кладки: от доли самцов и самок старше года она практически не зависела ($r=0.31$ и $r=-0.01$, n.s.). По-видимому, в северных широтах на птиц более сильно, чем возраст, действуют другие факторы, и на их фоне возрастные различия исчезают или существенно трансформируются. В свете гипотезы оптимизации величины кладки [59, 60, 61], можно предположить, что взрослые самки более точно прогнозируют будущее состояние кормовой базы и откладывают оптимальное для текущего

сезона, в то время как первородки – максимально возможное число яиц.

Факторы, влияющие на частоту вторых кладок

В южной Карелии один из наиболее изменчивых показателей биологии этого вида, сильно варьирующий как по годам, так и по районам исследований, это – доля вторых кладок в популяции. На контролируемой территории в Приладожье она составляла в разные годы от 0 до 100 %, в среднем 47.8 % ($n=116$).

В целом в ареале прослеживается общая тенденция сокращения частоты вторых кладок при продвижении на север [28], хотя широтные различия часто сглаживаются под влиянием других факторов: особенностей биотопа, плотности гнездового населения, возрастного состава популяции и т. д. Так, например, в меридианальном разрезе между 28° и 41° в. д. такой закономерности не наблюдается, а заметное снижение частоты бициклии имеет место только на крайнем севере (табл. 6). В Фенноскандии на широте наших исследований число вторых кладок увеличивается в восточных популяциях, что, возможно, связано с изменениями местных условий, в том числе характера биотопов (табл. 2).

Одним из наиболее значимых факторов, с которым связывают частоту вторых кладок, является породный состав древостоев. В западной Европе птицы чаще приступают ко 2 циклу гнездования в хвойных и вечнозеленых лесах и реже – в листопадных [1]. При этом доля вторых кладок в лиственных лесах ниже, чем в смешанных, а в смешанных – ниже, чем в сосновых [2, 4, 49]. В Карелии в заповеднике Кивач в спелых лесах с преобладанием хвойных пород деревьев, ко второму циклу гнездования приступает около 18 % птиц, в сосново-лиственных молодняках Прионежья – 55.8 %, в спелых мелколиственных лесах Заонежья – около 82 % [19]. В Приладожье два цикла гнездования птицы чаще имели в лесах с разнообразным по составу пород древостоем (табл. 4). Наиболее высока частота вторых кладок в лесах разного возраста с равным соотношением сосны и березы, чуть ниже – в смешанных лесах с преобладанием лиственных пород и почти чистых сосняках, минимальна – в практически чистых черноольшанниках и ельниках, а также в елово-сосновых лесах с малым числом лиственных деревьев. В разнообразных по составу пород древостоях, со сходной долей хвойных и лиственных деревьев, ко вторым кладкам приступало 57 % птиц ($n=53$), а в однородных или бедных по составу пород лесах (черноольшанник, ельник, елово-сосновый лес) – всего 24 % пар ($n=17$) ($F=6.2$; $p<0.05$). Исключение составили чистые сосняки, которые, несмотря на практически моноподродный состав древостоя, по частоте бициклии заняли среднее положение.

Таблица 6

Широтная изменчивость частоты вторых кладок у большой синицы
в полосе между 28° и 41° в.д.

Место исследований	Координаты	Число вторых кладок, %	Автор
Мурманская обл., Лапландский заповедник	67°54' с.ш., 32°50' в.д.	единичны	Семенов-Тянь-Шанский, Гилязов, 1991 [62]
Мурманская обл., Кандалакшский заповедник	67° с.ш., 32°20' в.д.	единичны	Бианки, Шутова, 1978 [63]
Карелия, Прионежье	61°30' с.ш., 34°58' в.д.	55.8	Зимин, 1978 [19]
Карелия, Маячино	60°46' с.ш., 32°48' в.д.	47.8	Наши данные
Ленинградская обл. пригороды Ленинграда	59°55' с.ш., 30°30' в.д.	27.6	Смирнов, Тюрин, 1981 [23]
Московская обл., Приокско-Тerrasный заповедник	54°50' с.ш., 37°40' в.д.	63.4	Лихачев, 2002 [5]
Рязанская обл., Окский заповедник	54°46' с.ш., 40°45' в.д.	28.1	Нумеров, 1987 [64]
Украина, Житомирская обл.	50°15' с.ш., 28°40' в.д.	37	Яремченко, Болотников, 1988 [65]

В западноевропейских популяциях большой синицы на частоту вторых кладок существенно влияет плотность гнездового населения [2 и др.]. В районе исследований подобного не наблюдалось. Несмотря на существенную разницу в плотности населения в разных биотопах, ее связи с долей птиц, имеющих 2 кладки, не было ($r=0.1$, n.s.). Годовые колебания численности птиц на контролируемой территории также не влияли на частоту бицикли (г= -0.1 , n.s.), даже в годы, когда плотность населения была выше средней многолетней.

Известно, что участие во втором цикле размножения зависит от возраста птиц, — особи старших возрастных групп чаще приступают ко вторым кладкам, чем первородки [2, 4, 49]. Такая тенденция имеет место и в Приладожье, однако здесь отчетливой связи частоты бицикли с возрастом птиц не прослеживается. Ежегодные колебания доли старых птиц в составе местного населения были прямо связаны с частотой вторых кладок, но коэффициент корреляции оказался незначимым ($r=0.39$, $p=0.06$). Пары, участвующие в двух циклах гнездования, чаще состояли из старых птиц, чем моноциклические: в первых самцы старше года составляли 57 % ($n=64$), во вторых — 42 % ($n=60$), а самки — 28 % и 23 % соответственно. Но и в этом случае различия были статистически незначимы. По-видимому, в исследуемом регионе на частоту вторых кладок воздействует большее число внешних факторов, и влияние возраста проявляется здесь не столь отчетливо, как в западной и южной Европе, где условия существования птиц более стабильные.

На частоту бицикли не влияли ни сроки начала размножения популяции ($r=-0.14$, n.s.),

ни весенняя погода, во многом определяющая эти сроки. Примечательно, что в годы с большой величиной первых и ранних кладок, число пар, приступающих ко второму циклу размножения, возрастало ($r=0.57$, $p<0.05$). Это свидетельствует о том, что и величина кладки, и частота бицикли, очевидно, были связаны с состоянием кормовой базы в весенний период.

Определенное влияние на долю вторых кладок оказывали погодные условия зимы. В Приладожье после теплых зим их число обычно возрастало. Подобную тенденцию отмечал Г. Н. Лихачев [26] в Московской области. Наши материалы показывают связь на грани значимости частоты бицикли с суммой среднемесячных температур декабря, января и февраля ($r=0.35$, $p=0.09$) и значимую связь этого параметра со среднемесячной температурой февраля ($r=0.41$, $p<0.05$). В феврале у синиц начинается развитие репродуктивного состояния, и можно предположить, что погода действует на его ход. Экспериментально установлено, что физиологическое развитие репродуктивной системы у синиц северных популяций не зависит от низких температур и ускоряется при высоких [34]. Из этого следует, что в теплые сезоны птицы будут готовы к размножению раньше, чем в холодные, и соответственно изменятся сроки гнездования. Наши данные показывают, что так и происходит, но в Приладожье на сроки размножения влияют только температуры апреля (табл. 3) и не влияют ни мартовские, ни февральские ($r=-0.1$ n.s.). Температуры воздуха этих месяцев остаются низкими и, по-видимому, не достигают пороговых значений, ускоряющих развитие репродуктивного состояния. Кроме того, в районе исследований зимует лишь незначительная часть

местного населения, а большинство птиц перемещается в зимовочные станции, иногда удаленные на сотни километров, где погодные условия совсем другие [66, 67, наши данные].

Более вероятно, что зимние температуры воздействуют на частоту бициклики опосредованно, сказываясь на состоянии кормовой базы синиц. Известно, что погодные условия зимовки существенно влияют на динамику численности насекомых [68, 69]. А состояние кормовой базы – один из важных факторов, определяющих частоту вторых кладок [70]. Вероятно, низкие зимние температуры снижают выживаемость беспозвоночных, уменьшая их обилие весной, и поэтому после холодных зим меньшее число синиц имеет два цикла размножения. Косвенным подтверждением этому служит динамика выживаемости потомства в первых и ранних гнездах – частичный отход птенцов находится в обратной зависимости от суммы среднемесячных температур декабря, января и февраля ($r = -0.44$, $p < 0.05$).

В Приладожье дистанция между первым и вторым гнездами одних и тех же пар колебалась от 0 до 1350 м и в среднем составляла 228 м ($n=55$). Масштаб перемещений птиц в районе исследований был несколько большим, чем в других частях ареала [71, 26, 53], этому способствовала низкая плотность гнездового населения и отсутствие конкуренции за территории.

Отдельные пары перемещались на значительное расстояние, переселяясь из одного биотопа в другой, очевидно, в связи с динамикой кормовой базы в разных станциях в течение лета.

Интервал между откладкой 1 яйца в первой и второй кладках составлял от 33 до 63 дней, в среднем 46 дней ($n=55$), а между датами вылупления птенцов в первой и началом второй кладки – 12–38, в среднем 22 дня. Считается, что длительность промежутка между двумя циклами гнездования точнее отражает последний показатель [70]. По нашим данным, сроки начала первой кладки на него не влияли ($r=0.1$, $n.s.$), зато прямо влияла ее величина ($r=0.5$, $p < 0.001$), а также дата вылупления птенцов ($r=0.3$, $p < 0.05$) и величина первого выводка ($r=0.35$, $p < 0.01$). Наиболее сильно этот интервал был связан со сроками начала второй кладки ($r=0.75$, $p < 0.001$). Прямая связь длительности промежутка между первой и второй кладками с величиной первого выводка известна из результатов полевых экспериментов [72, 70]. Его увеличение при поздних сроках размножения служит косвенным свидетельством обеднения кормовой базы во второй половине лета. Помимо обилия и доступности корма, важным фактором, определяющим этот интервал, по-видимому, является физиологическое состояние самки, ее готовность к продуцированию новой кладки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cramp S., Perrins C. M. Flycatchers to Shrikes. The Birds of the Western Palearctic. Oxford university press, 1993. V. VII. 577 p.
2. Kluver H. N. The population ecology of the Great Tit *Parus m. major* L. *Ardea* 39. 1951. P. 1–135.
3. Лэк Д. Численность животных и ее регуляция в природе. М.: Изд-во иностр. лит, 1957. 404 с.
4. Perrins C. M. Population fluctuations and clutch-size in the Great Tit, *Parus major* L. *J. Animal Ecology*. 1965. V. 34. P. 601–647.
5. Лихачев Г. Н. Размножение и численность большой синицы (*Parus major*) на юге Московской области // Сибирский экологический журнал. 2002. № 6. С. 757–773.
6. Волков А. Д., Громцев А. Н., Еруков Г. В., Караваев В. Н. и др. Экосистемы ландшафтов запада средней тайги (структура и динамика). Петрозаводск, 1990. 284 с.
7. Алисов Б. П., Берлин И. А., Михель В. М. Курс климатологии. Ч. 3. Климаты земного шара. Л.: Гидрометеиздат, 1954. 320 с.
8. Агроклиматический справочник по Карельской АССР. Л.: Гидрометеиздат, 1959. 184 с.
9. Романов А. А. О климате Карелии. Петрозаводск: Госиздат КАССР, 1961. 140 с.
10. Минин А. А. Пространственно-временная изменчивость дат начала некоторых фенологических явлений у птиц на Русской равнине // Бюлл. МОИП. Отд. биологии. 1992. Т. 97. Вып. 5. С. 28–34.
11. Благосклонов К. Н. Гнездование и привлечение птиц в сады и парки. М.: Изд-во МГУ, 1991. 251 с.
12. Виноградова Н. В., Дольник В. Р., Ефремов В. Д., Паевский В. А. Определитель пола и возраста воробьиных птиц фауны СССР. Справочник. М.: Наука, 1976. 189 с.
13. Svensson L. Identification Guide to European Passerines. Naturhist. Riksmusset, Stockholm, 1975. 153 p.
14. Both C., Artemyev A. V., Blaauw B., Cowie R. J. et. al. Large-scale geographical variation confirms that climate change causes birds to lay earlier. *Proc. R. Soc. Lond. B*. 2004. V. 271. P. 1657–1662.
15. Артемьев А. В. Биология гнездования большой синицы *Parus major* в юго-восточном Приладожье // Русский орнитол. журнал. 1993. Т. 2. С. 201–207.
16. Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1973. 343 с.
17. Ивантер Э. В., Коросов А. В. Введение в количественную биологию. Петрозаводск, 2003. 304 с.
18. Щербakov И. Д. Требования мухоловки-пеструшки и большой синицы к гнездовой станции и искусственному гнездовью // Пути и методы использования птиц в борьбе с вредными насекомыми. М., 1956. С. 81–93.
19. 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. КФ АН СССР, 1978. С. 17–31.
20. Мальчевский А. С., Пукинский Ю. Б. Птицы Ленинградской области и сопредельных территорий. Л.: Изд. ЛГУ, 1983. Т. 2. 504 с.
21. Зимин В. Б., Сазонов С. В., Лапшин Н. В., Хохлова Т. Ю., и др. Орнитофауна Карелии. Петрозаводск: Изд. КНЦ РАН, 1993. 220 с.
22. Носков Г. А., Смирнов О. П. Территориальное поведение и миграции большой синицы (*Parus m. major* L.) // Экология птиц Приладожья. Труды БИН ИЛГУ. 1981. Вып. 32. С. 100–130.

23. Смирнов О. П., Тюрин В. М. К биологии размножения большой синицы в Ленинградской области. Орнитология. М.: Изд. МГУ, 1981. Вып. 16. С. 185–188.
24. Balen J. H. van, Noordwijk A. J. van, Visser J. Lifetime reproductive success and recruitment in two Great Tit populations. *Ardea*. 1987. V. 75. P. 1–11.
25. McCleery R. H., Clobert J. Differences in recruitment of young by immigrant and resident Great Tits in Wytham Wood. Population biology of passerine birds. NATO ASI Series. V. G 21. Berlin: Springer, 1990. P. 423–439.
26. Лихачев Г. Н. Материалы по биологии птиц, гнездящихся в искусственных гнездовьях. Тр. Приокско-Террасного гос. заповедника. 1961. Вып. 4. С. 82–146.
27. Slagsvold T. Annual and geographical variation in the time of breeding in the Great Tit *Parus major* and the Pied Flycatcher *Ficedula hypoleuca* in relation to environmental phenology and spring temperature. *Ornis Scandinavica*. 1976. V. 7. P. 127–145.
28. Sanz J. J. Effects of geographic location and habitat on breeding parameters of Great Tits. *Auk*. 1998. V. 115. P. 1034–1051.
29. Johansson H. Kullstorlek och hackningsframgang hos vissa holkhackande smafaglar i centrala Sverige 1972–1974 (1952–1963). *Fauna och flora*. 1974. V. 69. 212–218.
30. Haartman L. von. The Nesting Habits of Finnish birds 1. Passeriformes. *Commentationes Biologicae Soc. Sci. Fenn.* 1969. V. 32. 1–187.
31. Шульц Г. Э. Общая фенология. Л.: Наука, 1981. С. 188 с.
32. Gwinner E. Circannual clocks in avian reproduction and migration. *Ibis*. 1996. V. 138. P. 47–63.
33. Dawson A., King V. M., Bentley G. E., Ball G. Photoperiodic Control of Seasonality in Birds. *J. of Biological rhythms*. 2001. V. 16. P. 365–380.
34. Silverin B. Reproductive Adaptations to Breeding in the North. *American Zoologist*. 1995. V. 35. P. 191–202.
35. Perrins C. M. Eggs, egg formation and the timing of breeding. *Ibis*. 1996. V. 138. P. 2–15.
36. Зимин В. Б. Экология воробьиных птиц северо-запада СССР. Л.: Наука, 1988. 184 с.
37. Nager R. G., Noordwijk A. J. van. Proximate and ultimate aspects of phenotypic plasticity in timing of great tit breeding in a heterogeneous environment. *American Naturalist*. 1995. V. 146. P. 454–474.
38. 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.
39. Meijer T., Nienaber U., Lancer U., Trillmich F. Temperature and timing of egg-laying of european starlings. *Condor* 1999. V. 101. P. 124–132.
40. Nager R. On the effects of small scale variation in temperature and food availability on laying date and egg size in Great Tits (*Parus major*). Population biology of passerine birds. NATO ASI Series. V. G 21. Berlin: Springer, 1990. P. 187–197.
41. Winkel W., Hudde H. Long-term trends in reproductive traits of tits (*Parus major*, *P. caeruleus*) and Pied Flycatcher (*Ficedula hypoleuca*). *J. of Avian Biol.* 1997. V. 28. P. 187–190.
42. Slagsvold T. Breeding time of birds in relation to latitude. *Norw. J. Zool.* 1975. V. 23. P. 213–218.
43. Slagsvold T. Hypotheses on breeding time and clutch-size in birds. *Norw. J. Zool.* 1975. V. 23. P. 219–222.
44. Veistola S., Lehtikoinen E., Iso-Iivari L. Breeding biology of the Great Tit *Parus major* in a marginal population in Northernmost Finland. *Ardea*. 1995. V. 83. P. 419–420.
45. Crick H. Q. P., Dudley C., Glue D. E., Thomson D. L. UK birds are laying eggs earlier. *Nature*. 1997. V. 388. 526 p.
46. McCleery R. H., Perrins C. M. Temperature and egg-laying trends. *Nature*. 1998. V. 391. P. 30–31.
47. Назарова Л. Е., Филатов Н. Н. Изменчивость климата по данным метеорологических наблюдений // Климат Карелии: изменчивость и влияние на водные объекты и водосборы. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. С. 12–34.
48. Visser M. E., Adriaansen F., Balen J. H. van, Blondel J. et al. Variable responses to large-climate change in European *Parus* populations. 2003. *Proc. of the Royal Soc. of London Ser. B*. P. 02PB0699.1-02PB0699.5.
49. Lack D. Population studies of birds. Oxford. Clarendon Press. 1966. 341 p.
50. Blondel J., Clamens A., Cramm P., Gaubert H., Isenmann P. Population studies on tits in the Mediterranean region // *Ardea*. 1987. V. 75. P. 21–34.
51. Cichon M., Linden M. The timing of breeding and offspring size in Great Tits *Parus major*. *Ibis*. 1995. V. 137. P. 364–370.
52. Perrins C. M., McCleery R. H. The effect of age and pair bond on the breeding success of Great Tit *Parus major*. *Ibis*. 1985. V. 127. P. 306–315.
53. Glutz von Blotzheim U. N., Bauer K. M. *Muscicapidae – Paridae*. *Handbuch der Vogel Mitteleuropas*. Bd. 13. Teil 1. Wiesbaden, Aula-Verlag, 1993. 808 s.
54. Klomp H. Fluctuations and stability in Great Tit populations. *Ardea* 1980. V. 68. 205–224.
55. Dhondt A. A., Kast T. L., Allen P. E. Geographical differences in seasonal clutch size variation in multi-brooded bird species. *Ibis*. 2002. V. 144. P. 646–651.
56. Beldal E. J., Barba E., Gil-Delgado J. A., Iglesias D. J., Lorez G. M., Monros J. S. Laying date and clutch size of Great Tit (*Parus major*) in the Mediterranean region: a comparison of four habitat types. *J. für Ornithologie*. 1998. V. 139. P. 269–276.
57. Orell M., Ojanen M. Effect of habitat, date of laying and density on clutch size of the Great Tit *Parus major* in northern Finland. *Holarctic Ecology*. 1983. V. 6. P. 413–423.
58. Haartman L. von. Population dynamics. Farner D. S., King J. R. (eds). *Avian biology*. V. 1. London: Academic Press, 1971. P. 391–459.
59. Perrins C. M., Moss D. Reproductive rates in the Great Tit. *J. Animal Ecology*. 1975. V. 44. P. 695–706.
60. Pettifor R. A., Perrins C. M., McCleery R. H. Individual optimization of clutch size in Great Tits. *Nature*. 1988. V. 336. P. 160–162.
61. Godfray H. C. J., Partridge L., Harvey E. H. Clutch size. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 1991. V. 22. P. 409–429.
62. Семенов-Тянь-Шанский О. И., Гилязов А. С. Птицы Лапландии. М.: Наука, 1991. 288 с.
63. Бианки В. В., ШUTOва Е. В. К экологии большой синицы в Мурманской области. Бюлл. МОИП. Отд. биологии. Т. 83. Вып. 2. 1978. С. 63–70.
64. Нумеров А. Д. Популяционная экология большой синицы в Окском заповеднике. Орнитология. М.: Изд. МГУ. 1987. Вып. 22. С. 3–21.

65. Яремченко О. А., Болотников А. М. Биология размножения большой синицы. Орнитология. М.: Изд. МГУ. 1988. Вып. 23. С. 81–93.
66. Добрынина И. Н. Предварительные результаты кольцевания больших синиц (*Parus major*) в северо-западных районах СССР. Результаты кольцевания и мечения птиц 1985 г. М.: Наука, 1991. 68–75.
67. Резвый С. П., Носков Г. А., Гагинская А. Р. и др. Атлас миграций птиц Ленинградской области по данным кольцевания // Тр. С-Пб общества естествоиспыт. С-Пб., 1995. Т. 85. Вып. 4. 232 с.
68. Виктор Г. А. Проблемы динамики численности насекомых на примере вредной черепашки. М.: Наука, 1967. 270 с.
69. Воронцов А. И. Лесная энтомология. М.: Высшая школа, 1975. 368 с.
70. Tinbergen J. M. Costs of reproduction in the Great Tit: intraseasonal costs associated with brood size. *Ardea*. 1987. V. 75. P. 111–122.
71. Езерскас Л. И. О биологии птиц-дуплогнездников семейств синицевых и мухоловковых в Литовской ССР. Экология и миграции птиц Прибалтики (Тр. 4-й Прибалт. орнитол. конф.). Рига: Изд-во АН Латв. ССР, 1961. С. 115–122.
72. Smith H. G., Källander H., Nilsson J.-A. Effects of experimentally altered brood size on frequency and timing of second clutches in the Great Tit. *Auk*. 1987. V. 104. P. 700–706.

УДК 577.352.2:57.044:57.088.5

АЛЕКСАНДРА ГРИГОРЬЕВНА БОРИСОВА

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
Института биологии КарНЦ РАН
borisova@krc.karelia.ru

ГАЛИНА АНТОНОВНА СУХАНОВА

главный физик Института биологии КарНЦ РАН
galina-sukhanova@yandex.ru

СЕРГЕЙ ПАВЛОВИЧ РОЖКОВ

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
Института биологии КарНЦ РАН
rozhkov@krc.karelia.ru

АНДРЕЙ СЕРГЕЕВИЧ ГОРЮНОВ

кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник
Института биологии КарНЦ РАН, доцент кафедры общей физики физико-технического факультета
ПетрГУ
goryunov@krc.karelia.ru

ВЛИЯНИЕ ДЕГИДРОАБИЕТИНОВОЙ КИСЛОТЫ НА ТЕРМОИНДУЦИРОВАННЫЕ СТРУКТУРНЫЕ ПЕРЕХОДЫ МЕМБРАН КЛЕТОК КРОВИ

Методами равновесного термогемолиза и дифференциальной сканирующей микрокалориметрии исследовано взаимодействие дегидроабиетиновой кислоты с мембранами клеток крови человека и форели. Показано, что механизм воздействия состоит в детергентной деструктуризации липидного бислоя мембраны, приводящей к гемолизу эритроцита, модификации контактов фосфолипидов с мембранными и цитоскелетными белками и их дестабилизации.

Ключевые слова: эритроцит, мембрана, дегидроабиетиновая кислота, термогемолиз, дифференциальная сканирующая калориметрия

ВВЕДЕНИЕ

Абиетиновая кислота – соединение, относящееся к классу природных трициклических ди-терпенов с общей формулой $C_{19}H_{29}COOH$. Это одна из самых распространенных в природе смоляных кислот, которые составляют основную часть живицы, канифоли, талового масла.

Дегидроабиетиновая кислота (ДГАК) – основной низкомолекулярный токсикант, обычно обнаруживаемый в стоках целлюлозно-бумажного

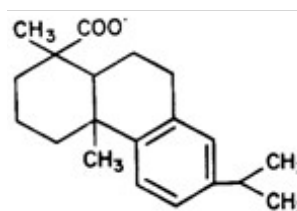


Рис. 1. Структура дегидроабиетиновой кислоты ($C_{19}H_{29}COO^-$)

производства и в окружающей среде в высоких концентрациях [1]. Одна из главных физиологических проблем, возникающих при воздействии ДГАК на организм, – гемолиз эритроцитов и выход из них гемоглобина, из которого образуется билирубин, накапливающийся в плазме и приводящий к развитию желтухи. Считается, что гемолиз происходит в результате нарушения функционирования плазматической мембраны [2]. В случае радужной форели, часто подверженной воздействию ДГАК при заводском разведении, снижение клеточной АТФ при накоплении ДГАК в эритроцитах сопровождается нарушением регуляции концентрации внутриклеточных ионов и гемолизом [2–4]. Имеются данные о биоаккумуляции ДГАК в плазме: очень высокое содержание в плазме (>200 мг/л) этой смоляной кислоты наблюдалось у радужной форели, подверженной сублетальным концентрациям ДГАК [5]. Одна из предполагаемых причин накопления билирубина и ДГАК в плазме – это конкуренция за мембрано-связанную анион-транспортную систему, поскольку билирубин, ДГАК и их производные выступают как анионы при физиологических pH [6, 7].

Влияние многих токсических агентов среды на клетки крови является опосредованным и может быть связано, например, со сдвигом коллоидно-осмотического баланса в сыворотке. Однако поверхностно-активные вещества и лекарства, являющиеся такими веществами, зачастую воздействуют на структуру мембраны и механические свойства клеток непосредственно [8–19]. Гемолитические свойства смоляных кислот могут быть обусловлены тем, что молекулы ДГАК способны растворяться в липидном бислое, увеличивая его проницаемость, и вызывать разрушение мембраны и клетки [3]. Поскольку многие амфифильные соединения воздействуют на функционирование и целостность клеточных мембран [20–22], возможно, что ДГАК – также амфифильное соединение – имеет сходный механизм активности.

Исследования методом ЭПР спиновых меток взаимодействия ДГАК с мембранами эритроцитов человека показали существенную зависимость параметров подвижности и порядка липидного бислоя мембран и спектра ЭПР спин-меченых белков цитоскелета от концентрации ДГАК, эффект которой на структурно-динамическое состояние цитоскелетных белков определен как первичный [23]. Таким образом, вопрос о способе взаимодействия ДГАК с клеточной мембраной, о том, является ли гемолиз результатом прямого детергентного воздействия ДГАК на липидный бислой или обусловлен влиянием на другие мембранные процессы, остается открытым. Поэтому в настоящей работе внимание сосредоточено на изучении в первую очередь мембранотропного механизма действия дегидроабиеитиновой кислоты, тем более что установленный факт ее токсичности по отно-

шению к эритроцитам позволяет использовать эти клетки как систему для изучения взаимодействия ДГАК с мембраной. Параллельные исследования гемолиза и структурных характеристик мембран эритроцитов форели способны существенно дополнить представления о механизме действия ДГАК и других ПАВ.

Цель настоящей работы – изучение влияния ДГАК на термические превращения и свойства мембран эритроцитов человека и форели, отражающие их структурное состояние: термогемолиз эритроцитов, термостабильность и термoinдуцированные переходы мембранных и цитоскелетных белков. В сравнительном аспекте изучены лимфоциты человека для выяснения особенностей взаимодействия ДГАК с клеточной мембраной. С этой целью в работе использовались методы равновесного термогемолиза эритроцитов и дифференциальной адиабатической сканирующей микрокалориметрии (ДАСМ).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Использовалась водорастворимая дегидроабиеитиновая кислота (ДГАК) (Sigma, $> 85\%$ содержания изоформ в препарате).

Термогемолиз эритроцитов (равновесный вариант). Термостабильность эритроцитов в изотоническом буферном растворе при воздействии ДГАК оценивалась по степени гемолиза эритроцитов. Для этого суспензия эритроцитов инкубировалась при температуре $36\text{--}62^\circ\text{C}$ в течение времени τ , охлаждалась, выдерживалась при 4°C 3–4 часа и центрифугировалась (700 g в течение 10 мин.); затем в надосадочной жидкости определялось количество высвободившегося гемоглобина по поглощению при 540 нм (спектрофотометр Specoll 11, Carl Zeiss). Степень гемолиза рассчитывалась как отношение количества вышедшего в раствор гемоглобина к общему количеству гемоглобина, которое определялось в исходной суспензии также спектрофотометрически. Скорость 50 %-ного лизиса красных клеток суспензии $k_{50} = 1/\tau_{50}$ (мин $^{-1}$), где τ_{50} – время 50 %-ного лизиса, определялась путем нелинейного регрессионного анализа на основе сигмоидной модели кривых лизиса и использовалась как показатель термоустойчивости эритроцитов. Кроме того, в качестве показателя термостабильности эритроцитов использовалась энергия активации ($E_{\text{акт}}$) термогемолиза, полученная из аррениусовских графиков скорости гемолиза k_{50} .

Дифференциальная сканирующая микрокалориметрия. Термические свойства мембран эритроцитов отражают общее конформационное состояние белковой компоненты – белковой глобулы или фибриллы в целом. Регистрацию температурных кривых избыточного удельного теплопоглощения эритроцитов человека и форели и мембран (теней) эритроцитов в суспензии

проводили на микрокалориметре ДАСМ-4 (ИБП РАН). Термоиндуцированные структурные переходы в эритроцитах и тенях эритроцитов регистрировались согласно процедуре, описанной в работах [24, 25] в диапазоне температур 15–100°C. Суспензии intactных эритроцитов или их теней (эритроцитов, освобожденных от внутриклеточного содержимого) помещались в платиновые ячейки микрокалориметра объемом 0,464 мл. Скорость сканирования составляла 1 К/мин. Уровень шума и воспроизводимость базовой линии были 0,5 и 3 μ Вт соответственно. Избыточное давление 2 атм поддерживалось в измерительных ячейках во время регистрации термограмм во избежание возможной дегазации образцов при нагревании. Базовая линия, получаемая при заполнении обеих ячеек буферным раствором, вычиталась из каждой экспериментальной термограммы. Для оценки обратимости тепловых переходов проводился повторный нагрев и сканирование тех же образцов после их охлаждения в ячейках микрокалориметра. Эта повторная калориметрическая запись вычиталась из первой для получения температурной зависимости удельного избыточного теплопоглощения ΔC_p эритроцитов, их теней и лимфоцитов для последующего анализа и графического представления. Температуры термоиндуцированных структурных переходов мембран определялись как температуры максимумов избыточного теплопоглощения образцов ΔC_p .

Получение эритроцитов и суспензий их мембран (теней). Консервированная кровь человека, отобранная в гемоконсервант (2 %-ный раствор цитрата натрия в 3 %-ном растворе глюкозы), отмывалась от плазмы и трижды центрифугировалась (3000 g, 30 минут) в изотоническом фосфатно-солевом буферном растворе (0,01 М натрий-фосфатный буферный раствор (pH 7,4), 0,15 М NaCl). В результате получался осадок эритроцитов, который разводился в буферном растворе до концентрации суспензии 0,2–2 % объемных.

Эритроциты радужной форели *Salmo irideus* изучались при двух температурах акклиматизации (4 и 19°C), близких к границам интервала температур обитания для форели. Эти температуры определяют различные физиологические состояния рыб, соответствующие зимнему и летнему типам метаболизма. Кровь отбиралась из хвостовой вены в раствор гепарина (5000 ед/мл), чтобы предотвратить коагуляцию (100 μ л / 10 мл крови), немедленно центрифугировалась (700 g), и после удаления плазмы и слоя лейкоцитов эритроциты отмывались трижды раствором Кортланда без глюкозы (124 mM NaCl, 5 mM KCl, 1,6 mM CaCl₂, 1 mM MgSO₄, 3 mM NaH₂PO₄, 12 mM NaHCO₃, pH 8,0). К осадку эритроцитов добавлялся десятикратный избыток изотонического буферного раствора (145 mM NH₄Cl, 4 mM KCl, 10 mM

NaHCO₃, 5 mM CaCl₂, 1 mM MgSO₄, 15 mM Hepes, 1 mM PMSF, pH 7,5), и смесь выдерживалась при 0°C 15–20 минут. Гемолизат центрифугировали при 20000 g 30 минут при 4°C в том же буфере трижды [26, 27].

Получение лимфоцитов и их суспензий. Лимфоциты выделялись из крови здоровых доноров по методике [28]. Кровь, взятая с антикоагулянтом, отстаивалась в течение 40 минут; затем надосадочная жидкость вместе с белой пленкой лейкоцитов отбиралась, разводилась фосфатно-солевым буферным раствором (pH 7,4) и наслаивалась на градиент фиколл-верографин ($\rho = 1,077$ г/мл) в объемном соотношении 1:3. Пробирки центрифугировали при 400 g 30 минут. Слой клеток между градиентом и буфером содержал взвесь лимфоцитов, которые трижды отмывались в фосфатно-солевом буферном растворе при 400 g 5 минут. Взвесь клеток разводилась до концентрации $(0,75\text{--}1) \cdot 10^7$ кл/мл; подсчет велся в камере Горяева.

Содержание мембран в образцах контролировалось путем высушивания суспензий при 100°C.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Термогемолиз эритроцитов. Для изучения влияния ДГАК на устойчивость эритроцитов к температурному лизису проводили термогемолиз при различных температурах и концентрациях ДГАК. В концентрации $2 \cdot 10^{-5}$ М при комнатной температуре (22 °C) ДГАК не вызывала гемолиза эритроцитов человека в течение 24 часов. В присутствии $4 \cdot 10^{-4}$ М ДГАК константа скорости гемолиза составила $k_{50} = 9 \cdot 10^{-4}$ мин⁻¹.

При 58°C выход сигмоидных кривых термогемолиза на плато в присутствии ДГАК наступал раньше, чем в контрольной суспензии. Существенное усиление гемолитического эффекта наблюдалось уже при концентрации ДГАК выше $4 \cdot 10^{-5}$ М. Эти данные подтверждают существование представление о том, что ДГАК способна вызывать деструкцию мембраны эритроцита, которая приводит к гемолизу. Степень гемолиза зависит как от концентрации ДГАК, так и от температуры, при которой инкубировались клетки.

Дифференциальная сканирующая микрокалориметрия.

Эритроциты. На рисунке 2 показаны термограммы избыточного теплопоглощения суспензии теней эритроцитов форели, акклиматизированной при разных температурах. На кривой для 14°C отчетливо видны пять термоиндуцированных структурных переходов мембраны теней и отсутствует переход ядра эритроцита форели благодаря высокой степени обратимости этого перехода. Эта общая – с пятью пиками – форма термограммы ДСК для эритроцитов выглядит в значительной степени аналогично полученным для различных видов млекопитающих (человек, крыса, свинья, собака) и рыб (форель) [24, 25, 29–32].

При этом температуры и относительная интенсивность переходов могут различаться. Распознавание отдельных переходов может быть проведено на основании взаимного соответствия их температур и общего сходства формы термограмм. Аналогия в последовательности переходов, их числе и относительных положениях позволяет связать их с соответствующими группами мембранных белков, отталкиваясь от термограмм для мембран эритроцитов человека (таблица 1).

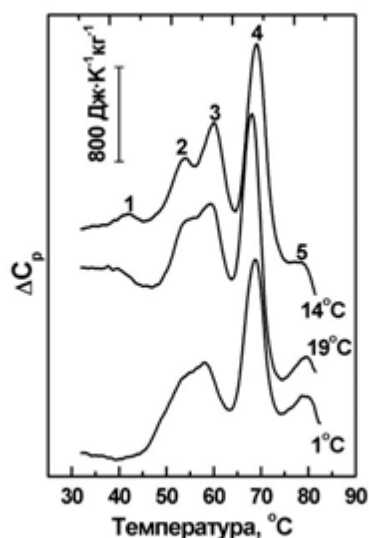


Рис. 2. Температурные зависимости избыточного удельного теплопоглощения ΔC_p суспензий мембран (теней) эритроцитов форели при различных температурах акклиматизации: 1, 14, 19°C

Таблица 1

Температуры термоиндуцированных переходов (°C) для различных групп белков intactных эритроцитов человека и форели

№ пика	Цельные эритроциты		Эритроцитарные мембраны (тени)		
	Форель	Человек**	Форель	Человек**	Группа белков
1	43,5–44,0	50,0	40,0–42,0	49,5	α , β -спектрин-актин
2	47,5–48,0	56,8	53,0–55,0	56,0	анкирин, п.4.1 и 4.2
3	57,0–58,0*	63,8	59,0–60,0	62,0	цитоплазматический домен п.3
4	62,0–64,0*	72,4*	68,0–70,0	68,0	мембранный домен п.3
5	76,0	–	78,0–79,0	78,0	тропомиозин

* денатурационный переход гемоглобина

** данные для эритроцитов человека взяты из работ [25, 30, 32]

Рисунки 3 и 4 иллюстрируют влияние ДГАК на термоиндуцированные переходы (термопереходы) в мембранных белках эритроцитов форели, акклиматизированной при разных температурах, и человека. Для intactных эритроцитов человека и форели необратимые термопереходы на калориметрических кривых обусловлены тепловой денатурацией (нарушением упорядоченной трехмерной структуры, характерной для нативной молекулы, с разрывом критического числа нековалентных связей, фиксирующих эту структуру) молекул мембранных белков эритроцитов. Интегральная интенсивность пиков, соответствующих переходам, отражает энтальпию денатурации ΔH_d . Под действием ДГАК уменьшается интегральная интенсивность пиков всех термопереходов вплоть до их полного исчезновения. Это указывает на то, что при взаимодействии ДГАК с мембраной происходит частичная химическая денатурация белков, в результате которой снижается энтальпия ΔH_d термопереходов. Зависимости температуры термопереходов от концентрации ДГАК представлены на рисунках 5 и 6 для эритроцитов человека и форели. Видно, что температура термопереходов, которая отражает температуру денатурации соответствующих белков, значительно понижается под действием ДГАК, что указывает на термодестабилизацию белков цитоскелета эритроцитов в результате их химической денатурации в присутствии ДГАК.

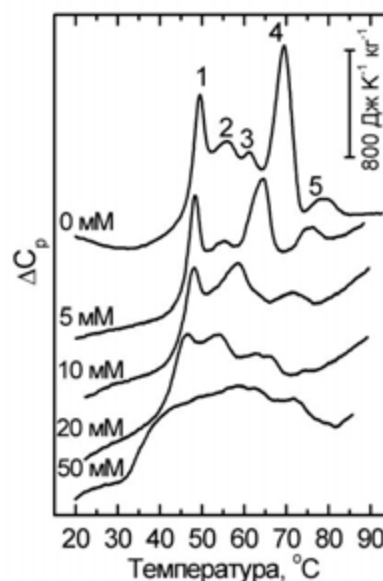


Рис. 3. Температурные зависимости избыточного удельного теплопоглощения ΔC_p суспензии мембран (теней) эритроцитов человека при различных концентрациях дегидроабиетиновой кислоты – 0, 5, 10, 20 и 50 mM. Пики отражают тепловые переходы различных участков мембраны, включая белок и соответствующую область липидного бислоя. Отнесение пиков – в таблице 1

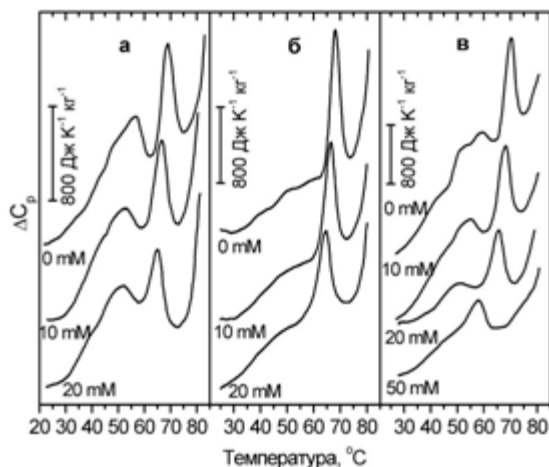


Рис. 4. Температурные зависимости избыточного удельного теплопоглощения ΔC_p суспензии мембран (теней) эритроцитов форели при концентрациях ДГАК 0, 10, 20 и 50 мМ и температурах акклиматизации (окружающей воды) 4 °С (а), 10 °С (б) и 19 °С (в)

ДГАК существенно модифицирует мембрану эритроцита начиная с концентрации 5-мМ, воздействуя в первую очередь на мембранный домен анионтранспортирующего канала (белок полосы 3) (пик 4 на рис. 2–4): при концентрации ДГАК 20-мМ происходит чрезвычайно значительное снижение температуры перехода – сдвиг максимума пика достигает ~ 15 °С у эритроцитов человека (рис. 5) и ~ 4 °С – у эритроцитов форели (рис. 6), а также наиболее значительное из всех переходов уменьшение энтальпии (примерно в два раза у эритроцитов человека уже при 5-мМ) и в меньшей степени у эритроцитов форели при всех температурах акклиматизации.

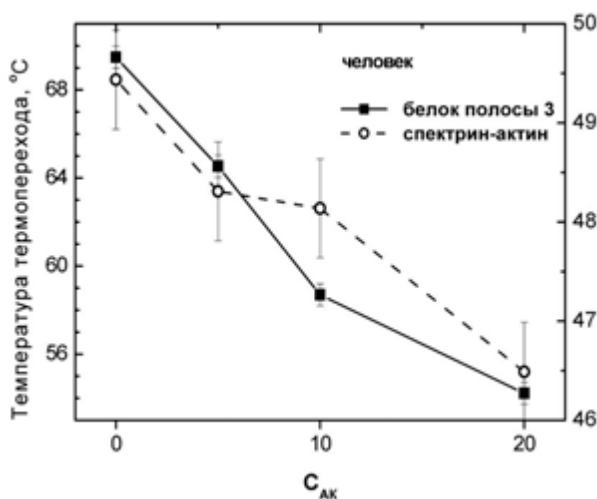


Рис. 5. Зависимость температуры термоиндуцированных переходов белков мембраны эритроцитов человека от концентрации (мМ) ДГАК. Левая ось температур – для мембранного домена белка полосы 3, правая – для цитоскелетного белкового комплекса спектрин-актин-полоса 4.1

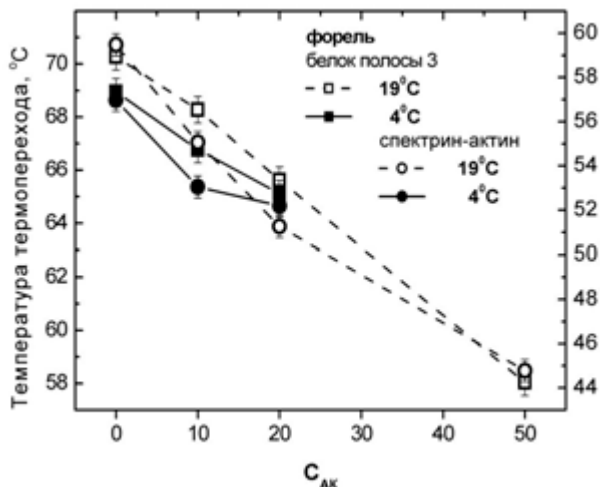


Рис. 6. Зависимость температуры термоиндуцированных переходов белков мембраны эритроцитов форели от концентрации (мМ) ДГАК при температурах акклиматизации 4 и 19 °С. Левая ось температур – для мембранного домена белка полосы 3, правая – для цитоскелетного белкового комплекса спектрин-актин-полоса 4.1

Аналогичный, но значительно меньший эффект ДГАК наблюдается в отношении термоперехода комплекса спектрин-актин (пик 1): как для человека, так и для форели изменения в области этого термоперехода менее заметны. В случае эритроцитов человека температура термостабилизации понижается лишь на ~3 °С, а интенсивность пиков комплекса уменьшается незначительно.

Характер изменения формы термопереходов других мембранных белков – белков полос 2.1, 4.1, 4.2, 5 (термопереходы серии 2) и цитоплазматического домена белка полосы 3 (термопереход 3) менее очевиден, чем переходов 1 и 4. Однако на рис. 3 и 4 можно видеть, что в области переходов 2 и 3 изменения под действием ДГАК незначительны. В случае эритроцитов человека эти изменения при концентрации ДГАК 5-мМ имеют примерно тот же порядок, что и для комплекса спектрин-актин (пик 1). При дальнейшем повышении содержания ДГАК переходы объединяются с пиком 4, а затем и с пиком 1, что может указывать на образование большого комплекса этих белков, когда их термопревращения перестают быть сколько-нибудь независимыми процессами. В случае эритроцитов форели изменения в области пиков 2 и 3 также менее выражены по сравнению с пиком 4, объединения с которым в этом случае вообще не происходит. Выраженность изменений в области пиков 2 и 3 отличается при высокой (19 °С) и низкой (4 °С) температурах акклиматизации.

Приведенные результаты показывают, что гемолитический эффект ДГАК наблюдается методом равновесного термогемолита при концентрациях ($4 \cdot 10^{-5}$ М), гораздо меньших, чем

те, при которых проявляется эффект ДГАК на мембранные белки, регистрируемый с помощью термографии (5-мМ). Это указывает на то, что механизм гемолитического действия ДГАК обусловлен воздействием ДГАК в первую очередь на липидный бислой мембраны эритроцита, а не на мембранные белки, модификация которых в присутствии ДГАК, очевидно, является вторичным эффектом по отношению к гемолитическому.

Полученные данные также свидетельствуют о том, что преобладающий эффект ДГАК на мембранные белки состоит в наиболее существенной модификации мембранного домена белка полосы 3 по сравнению с другими белками.

Мембранный домен белка полосы 3, являясь трансмембранной частью анион-транспортного белкового канала, погружен в липидный бислой мембраны эритроцита и частично экспонирован как во внеклеточную, так и внутриклеточную среду. Благодаря этому способ его взаимодействия с экзогенными химическими агентами может отличаться от способа взаимодействия с другими белками, регистрируемыми термографически (спектрин-актин, анкирин, цитоплазматический домен белка полосы 3), которые экспонированы исключительно во внутриклеточную среду и имеют лишь ограниченные контакты с фосфолипидами мембраны. Это обуславливает существенно большую подверженность мембранного домена белка полосы 3 действию ДГАК за счет влияния на его структуру при нарушении липидного микроокружения белкового домена в результате разрушения липидного бислоя. Судя по меньшей чувствительности остальных белков к действию ДГАК, они подвергаются модификации только после разрушения мембраны и гемолиза при проникновении ДГАК в разрушенную клетку в результате изменения контактов с липидным бислоем при его деструкции. Кроме того, меньшая чувствительность этих белков к влиянию ДГАК может объясняться их интегрированностью в цитоскелетный каркас клетки, что способно стабилизировать их структуру, и меньшей площадью контакта с липидным бислоем, что делает зависимость их состояния от деструкции бислоя менее значительной.

На термограммах для эритроцитов человека видна тенденция к совмещению и объединению в один широкий всеохватывающий переход всех пиков при концентрации ДГАК 50-мМ. В случае эритроцитов форели такого объединения не происходит в исследованном диапазоне концентраций ДГАК. Объединение пиков свидетельствует об образовании высокомолекулярных агрегатов мембранных белков, которое хорошо известно для случаев окислительной дегградации мембран эритроцитов [25]. В составе агрегатов белковые домены претерпевают изменение своей конформации. При этом они остаются связанными с мембраной, т. к. нам не удалось обна-

ружить каких-либо белков или их агрегатов в супернатанте. Степень перекрытия пиков на термограммах отражает интенсивность межмолекулярного взаимодействия и/или указывает на нивелирование отличий в характере взаимодействия белков с микроокружением – белковым, липидным и водным – в результате изменения их конформационного состояния под влиянием ДГАК.

Известно, что цитоскелетная сеть эритроцитов форели гораздо более развитая и содержит больше актиновых структур. Это может препятствовать комплексообразованию белков цитоскелета мембраны при разрушении липидного бислоя под действием ДГАК.

Однако общее снижение температуры термopереходов всех серий указывает на единый механизм воздействия ДГАК на структуру всех белков мембраны. Это воздействие, видимо, состоит в ослаблении внутримолекулярных контактов элементов третичной структуры внутри каждого из белков при одновременном усилении межмолекулярного взаимодействия между белками. Усиление взаимного перекрытия отдельных пиков и уменьшение их разрешенности, очевидно, отражает снижение кооперативности денатурационных термopереходов, отвечающих плавлению отдельных мембранных белков или их структурных доменов.

Снижение температуры термopереходов и интенсивности пиков отдельных мембранных белков (энтальпии денатурации ΔH_d) однозначно указывает на уменьшение термостабильности (свободной энергии стабилизации ΔG_d) этих макромолекул под действием ДГАК.

Характер зависимости температуры термopереходов мембранных белков эритроцитов форели не зависит решающим образом от температуры акклиматизации животных, однако выраженность изменения в области переходов 2, 3 отличается у эритроцитов форели, акклиматизированной при 4 и 19 °C (рис. 4). Известно, что липидный состав мембран эритроцитов форели претерпевает существенные сезонные вариации, и, следовательно, характер белок-липидных контактов и их вклад в свободную энергию стабилизации мембранных белков может отличаться при разных температурах акклиматизации. Эффект разрыва этих контактов для термopереходов соответствующих белков под действием ДГАК будет в таком случае различным.

Отсутствие зависимости температуры термopереходов от температуры акклиматизации рыб указывает на то, что устойчивость мембранных белков эритроцитов форели к действию ДГАК не зависит от липидного состава мембраны. Вероятно, структурное состояние белков определяется микроокружением, в котором роль липидов не является решающей.

Лимфоциты. На рисунках 7 и 8 представлены результаты изучения воздействия ДГАК на мембрану лимфоцитов методом дифференци-

альной сканирующей микрокалориметрии. На рисунке 7 показана термограмма интактных лимфоцитов в суспензии, не содержащей и содержащей разные концентрации ДГАК.

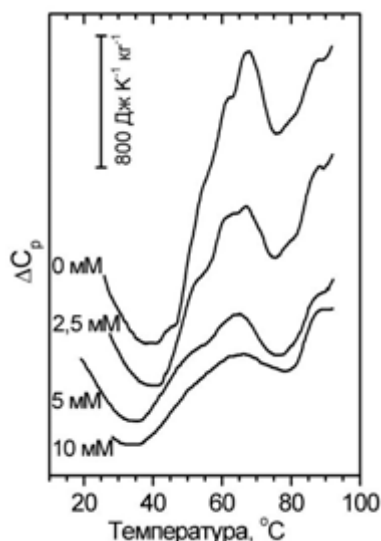


Рис. 7. Температурные зависимости избыточного удельного теплопоглощения ΔC_p суспензии мембран лимфоцитов человека при различных концентрациях ДГАК – 0, 2,5, 5 и 10 mM (сверху вниз). Пики отражают тепловые переходы различных участков мембраны, включая белок и соответствующую область липидного бислоя

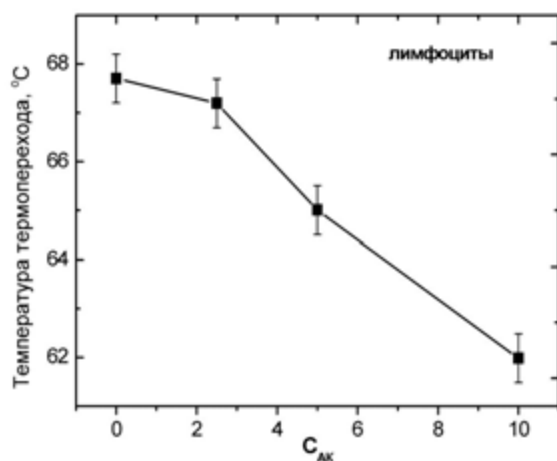


Рис. 8. Зависимость температуры главного максимума термоиндуцированных переходов интактных лимфоцитов человека от концентрации (mM) ДГАК

Форма термограмм лимфоцитов человека под влиянием ДГАК изменяется в целом аналогично тому, как это происходит в случае эритроцитов. Данные об отнесении термопереходов в мембранах лимфоцитов к определенным видам мембранных белков в литературе отсутствуют. Исключение составляет только наиболее высокотемпературный пик. Он соответствует температуре 87–88 °C, так же как и у эритроцитов.

Поэтому его можно идентифицировать с термопереходом в ядре лимфоцита, обусловленным плавлением хроматинового комплекса [33]. Обратимость этого перехода у лимфоцитов, очевидно, существенно меньше, чем у эритроцитов.

Остальные пики уменьшаются по интенсивности (энтальпии перехода) и сдвигаются в сторону низких температур. Зависимость температуры главного максимума термограммы лимфоцитов от концентрации ДГАК представлена на рисунке 8. Эти данные показывают, что воздействие на лимфоциты ДГАК вызывает термодестабилизацию белковой компоненты мембраны.

Степень перекрытия пиков возрастает с увеличением содержания ДГАК. Таким образом, в присутствии ДГАК в суспензии лимфоцитов термостабильность белков мембраны и цитоскелета также снижается: уменьшается температура денатурационного перехода, снижается энтальпия денатурации и кооперативность соответствующих структурных переходов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Термотропные свойства мембран клеток крови (эритроцитов и лимфоцитов) отражают общее (глобальное) конформационное состояние белковой компоненты – состояние белковой глобулы или фибриллы в целом. Воздействие ДГАК на мембрану (липидный бислой) существенным образом изменяет как гемолитическую устойчивость интактных эритроцитов, так и термотропные свойства плазматических мембран клеток, модифицируя структуру как мембранных, так и цитоскелетных белковых доменов. Полученные результаты позволяют считать, что в основе гемолитического эффекта ДГАК по отношению к эритроцитам лежат ее детергентные свойства как амфифильного соединения: молекулы ДГАК способны вызывать разрушение мембраны, воздействуя в первую очередь на липидный бислой. Эффект термодестабилизации мембранных белков вторичен и проявляется при более высоких концентрациях ДГАК, когда молекулы ДГАК, находясь в результате лизиса эритроцита уже как во внутри-, так и во внеклеточной среде, встраиваются в липидный бислой мембраны и разрушают как бислой, так и естественное липидное микроокружение мембранных и, в меньшей степени, цитоскелетных белковых доменов, что приводит к их дестабилизации. В наибольшей степени такое воздействие оказывается на мембранный домен белка полосы 3 ввиду того, вероятно, что объем его липидного микроокружения наибольший. Внутримолекулярные взаимодействия в белках мембраны эритроцитов и лимфоцитов под влиянием ДГАК ослабевают, а межмолекулярные усиливаются.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 08-04-98825.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Oikari A. Acute lethal toxicity of some reference chemicals to freshwater fishes of Scandinavia // *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 1987. V. 39. N. 1. P. 23–28.
2. Pitchard J. B., Walden R., Oikari A. Dehydroabietic acid, a major anionic contaminant of pulp mill effluent, reduces both active p-aminohippurate transport and passive membrane permeability in isolated renal membranes // *J. Pharm. Exp. Therapeut.* 1991. V. 259. N. 1. P. 156–163.
3. Bushnell P. G., Nikinmaa M., Oikari A. Metabolic effects of dehydroabietic acid on rainbow trout erythrocytes // *Comp. Biochem. Physiol.* 1985. V. 81C. P. 391–394.
4. Matsoff L., Nikinmaa M. Effects of plasma proteins on the dehydroabietic acid-induced red cell breakdown // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 1987. V. 14. N. 2. P. 157–163.
5. Oikari A., Anäs E., Kruzyński G., Holmbom B. Free and conjugated resin acids in the bile of rainbow trout, *Salmo gairdneri* // *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 1984. V. 33. N. 2. P. 233–240.
6. Klaassen C. D., Watkins J. B. 3rd. Mechanisms of bile formation, hepatic uptake, and biliary excretion // *Pharmacol. Rev.* 1984. V. 36. N. 1. P. 1–67.
7. Matsoff L., Oikari A. Acute hyperbilirubinaemia in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) caused by resin acids // *Comp. Biochem. Physiol.* C. 1987. V. 88. N. 2. P. 263–268.
8. Radnova N. A., Popov Ch. S. Studies on the hemolytic effect of chlorpromazine // *Proc. Bulgarian. Acad. Sci.* 1978. V. 31. N. 5. P. 595–598.
9. de Bruijne A. W., van Steveninck J. The effect of anesthetics and heart treatment on deformability and osmotic fragility of red blood cells // *Biochem. Pharmacol.* 1979. V. 28. N. 2. P. 177–182.
10. Butikofer P., Brodbeck U., Ott P. Modulation of erythrocyte vesiculation by amphiphilic drugs // *Biochim. Biophys. Acta. Biomembranes.* 1987. V. 901. N. 150. P. 291–295.
11. Fujii T., Sato T., Tamura A., Wakatsuki M., Kahano Y. Shape changes of human erythrocytes induced by various amphiphatic drugs acting on the membrane of the intact cell // *Biochem. Pharmacol.* 1979. V. 28. P. 613–620.
12. Fogt A., Hägerstrand H., Isomaa B. Effects of N,N'-bisdimethyl-1,2-thanediamine dichloride, a doublechain surfactant, on membrane-related functions in human erythrocytes // *Chem. Biol. Interact.* 1995. V. 94. P. 147–155.
13. Tragner D., Csordas A. Biphasic interaction of Triton detergents with the erythrocyte membrane // *Biochem. J.* 1987. V. 244. N. 3. P. 605–609.
14. Constantinescu A., Frangopor P. T., Mdrgeineau D. G. Temperature dependence of the tertiary amines effects on the osmotic properties of human erythrocytes // *Cent. Inst. Phys. (Rept.)*. NRB. 1985. V. 16. P. 55–65.
15. Шпакова Н. М., Бондаренко В. А. Действие хлорпромазина на температурную и осмотическую чувствительность эритроцитов // *Биохимия.* 1991. Т. 56. № 12. С. 2125–2130.
16. Бладергрэн В. Физическая химия в медицине и биологии. М.: Изд-во Иностранной литературы, 1951. 600 с.
17. Мицеллообразование, солюбилизация и микроэмульсии. / Миттел К. М.: Мир, 1980. 600 с.
18. Lee A. G. T. Effects of charged drugs on the phase transition temperatures of phospholipid bilayers // *Biochim. Biophys. Acta.* 1978. V. 514. N. 1. P. 95–104.
19. Johnson R. M. The kinetics of resealing of washed erythrocyte ghosts // *J. Membr. Biol.* 1975. V. 22. N. 3–4. P. 231–253.
20. Seeman P. The membrane actions of anesthetics and tranquilizers // *Pharmacol. Rev.* 1972. V. 24. N. 4. P. 583–655.
21. Isomaa B., Hagerstrans H., Paatero G., Engblom A. C. Permeability alterations and antihaemolysis induced by amphiphiles in human erythrocytes // *Biochim. Biophys. Acta.* 1986. V. 860. P. 510–524.
22. Hagerstrans H., Isomaa B. Vesiculation induced by amphiphilicities in erythrocytes // *Biochim. Biophys. Acta.* 1989. V. 982. P. 179–186.
23. Butterfield D. A., Trad C. H., Hall N. C. Effects of dehydroabietic acid on the physical state of cytoskeletal proteins and the lipid bilayer of erythrocyte membranes // *Biochim. Biophys. Acta.* 1994. V. 1192. P. 185–189.
24. Zhadan G. G., Cobaleda C., Jones A. L., Leal F., Villar E., Shnyrov V. L. Protein involvement in thermally induced structural transitions of pig erythrocyte ghosts // *Biochem. Mol. Biol. Int.* 1997. V. 42. P. 11–20.
25. Akoev V. R., Matveev A. V., Belyaeva T. V., Kim Y. A. The effect of oxidative stress on structural transitions of human erythrocyte ghost membranes // *Biochim. Biophys. Acta.* 1998. V. 1371. P. 284–294.
26. Romano L., Passow H. Characterization of anion transport system in trout red blood cell // *Am. J. Physiol.* 1984. V. 246. P. 330–338.
27. Fievet B., Perset F., Gabillat N., Guizouarn H., Borgese F., Ripoché P., Motaïs R. Transport of uncharged organic solutes in *Xenopus oocytes* expressing red cell anion exchangers (AE1s) // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 1998. V. 95. N. 18. P. 10996–10001.
28. Berger C. L., Edelson R. L. Comparison of lymphocyte function after isolation by ficoll-hypaque flotation or elutriation // *J. Invest. Dermatol.* 1979. V. 73. N. 3. P. 231–235.
29. Shnyrov V. I., Orlov S. N., Zhadan G. G., Pokudin N. I. Thermal inactivation of membrane proteins, volume-dependent Na^+/K^+ -cotransport, and protein kinase C activator-induced changes of the shape of human and rat erythrocytes // *Biomed. Biochim. Acta.* 1990. V. 49. P. 445–453.
30. Brandts J. F., Erickson K., Lysko K., Schwartz A. T., Taverna R. D. Calorimetric studies of the structural transitions of the human erythrocytes membrane. The involvement of spectrin in the A transition // *Biochemistry.* 1977. V. 16. P. 3450–3454.
31. Акоев В. Р., Бобровский Р. В., Жадан Г. Г., Салия Ц. Х., Багелева Я., Шныров В. Л. Калориметрическое исследование структурных переходов в мембранах эритроцитов собаки // *Биол. мембраны.* 1991. Т. 8. С. 78–84.
32. Lysko K., Carlson R., Taverna R., Snow J., Brandts J. F. Protein involvement in structural transitions of erythrocyte ghosts. Use of thermal gel analysis to detect protein aggregation // *Biochemistry.* 1981. V. 20. N. 19. P. 5570–5576.
33. Topchishvili L. S., Barbakadze S. I., Khizanishvili A. I., Majagaladze G. V., Monaseldze J. R. Microcalorimetric study of iodized and noniodized cells and C-phycocyanin of *Spirulina platensis* // *Biomacromolecules.* 2002. V. 3. N. 3. P. 415–420.

УДК 582.475.2:581.522.68

ИВАН ТАРАСОВИЧ КИЩЕНКО

доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники
и физиологии растений эколого-биологического факультета
ПетрГУ
ivanki@karelia.ru

МАРИНА НИКОЛАЕВНА ПОТАПОВА

агроном ботанического сада эколого-биологического
факультета ПетрГУ
potap@sampo.ru

СЕЗОННЫЙ РОСТ ПОБЕГОВ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *ACER* (ACERACEAE) В УСЛОВИЯХ ИНТРОДУКЦИИ

Исследования проводились в подзоне средней тайги (Южная Карелия). Объектами исследований служили представители шести интродуцированных видов рода *Acer*: *Acer ginnala* Maxim., *A. semenovii* Regel. et Herd., *A. negundo* L., *A. tataricum* L., *A. platanoides* L. и *A. pseudoplatanus* L. В результате проведенных исследований установлено, что особенности роста побегов и листьев обусловлены биологическими свойствами вида.

Ключевые слова: рост, побеги, виды Клена, интродукция

Усиливающееся загрязнение окружающей среды все настоятельнее требует увеличения объема озеленительных работ. Большинство аборигенных видов древесных растений таежной зоны России плохо переносят прогрессирующее загрязнение окружающей среды. Между тем многие виды лиственных древесных растений, в т. ч. и рода *Acer* (из других географических районов) устойчивы к загазованности и задымлению воздуха. По данным К. К. Калущко и Н. А. Болотова [1], хорошо подобранные к новым экологическим условиям виды древесных растений при введении в культуру часто значительно перегоняют по продуктивности местные виды. В связи с этим предполагается их интродукция и ее оценка.

Один из важнейших показателей интродукции – степень соответствия ритмики роста и развития растения динамике экологических факторов [2]. Именно сезонный ритм роста является интегральным показателем, характеризующим адаптацию растений к условиям

среды и соответствие последних биологии вида [3, 4].

В отечественной литературе выяснению особенностей сезонного роста вегетативных органов лиственных древесных растений уделено сравнительно мало внимания [5, 6, 7]. Цель нашей работы – изучение в этом аспекте интродуцентов рода *Acer* в таежной зоне России.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследования проводили в 2001–2002 гг. в ботаническом саду Петрозаводского государственного университета, расположенного на северном берегу Петрозаводской губы Онежского озера (подзона средней тайги). Объектами исследований служили 6 видов рода *Acer*: клен приречный *A. ginnala* Maxim., клен Семенова *A. semenovii* Regel. et Herd., клен ясенелистный *A. negundo* L., клен татарский *A. tataricum* L., клен остролистый *A. platanoides* L. и клен ложноплатановый *A. pseudoplatanus* L.* (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика объектов исследований

Вид растения	Место происхождения саженцев, город	Возраст, лет
<i>Acer ginnala</i> Maxim.	Красное село	46
<i>A. negundo</i> L.	С-Петербург	51
<i>A. platanoides</i> L.	Красное село	61
<i>A. pseudoplatanus</i> L.	Красное село	51
<i>A. semenovii</i> Regel. et Herd.	Красное село	46
<i>A. tataricum</i> L.	Красное село	61

*Примечание: по С. К. Черепанову [8].

С целью изучения роста побегов текущего года измеряли длину осевых стеблей второго порядка ветвления с южной части кроны на высоте 1–1.5 м с момента набухания почек до заложения зимующих почек, площадь листьев – с момента их обособления до полного прекращения роста через каждые 2–3 дня. Объем выборки по каждому объекту – 25 побегов и листьев. Величину суточного прироста определяли как разницу в длине изучаемых органов между последующим и предшествующим наблюдениями, деленную на число суток этого периода [9, 10].

Климатические данные были получены от Сулажгорской метеостанции (Карельская гидрометеобсерватория), расположенной в 3 км юго-западнее Ботанического сада. Все выборки проверены на закон нормального распределения. Коэффициенты корреляции и различия между средними величинами оценены на достоверность. Из полученных элементарных статистик, в частности, следует, что показатель точности опыта довольно высок (4–5%), а коэффициент вариации невелик (13–17%).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные исследования позволили установить, что сроки начала роста побегов изучаемых видов *Acer* могут варьировать по годам в пределах двух недель и приходятся на первую половину июня (рис. 1). При этом различия между видами не превышают 3–4 сут (табл. 2). Изменчивость такого рода отмечал и Н. В. Шкутко [11].

Сроки окончания роста побегов варьируют по годам также в пределах двух недель. Время наступления этой фенофазы у разных видов *Acer* отличается не более чем на 3–7 сут и наблюдается во второй половине июля. По мнению Н. В. Шкутко [11], степень адаптации интродуцентов к новым климатическим условиям тем выше, чем менее изменчивы сроки начала и окончания их фенофаз. По нашим данным, наименьшая вариабельность сроков прекращения роста побегов (в пределах 3 сут) характерна для *A. ginnala*, *A. negundo* и *A. platanoides*.

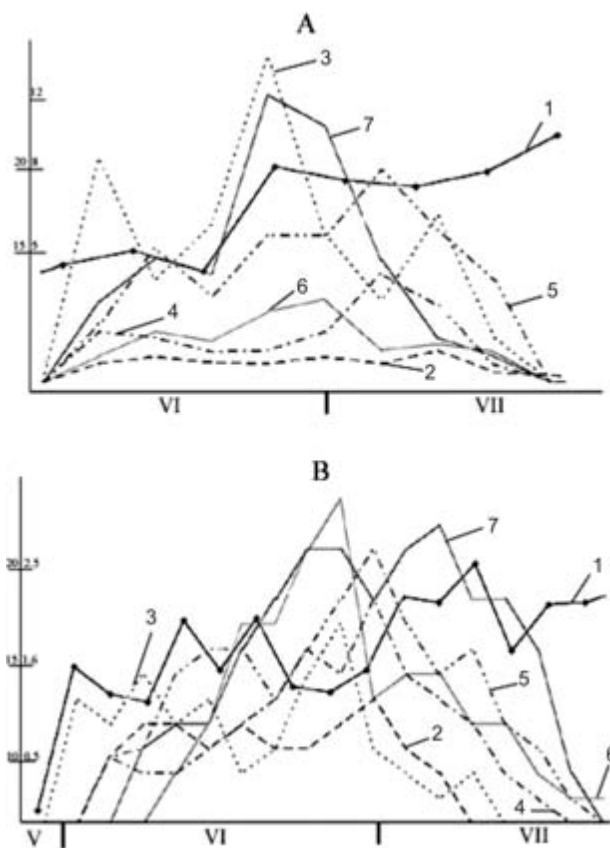


Рис. 1. Сезонная динамика температуры воздуха и суточного прироста побегов различных видов *Acer*

Годы: А – 2001, В – 2002. 1 – температура воздуха, 2 – *Acer platanoides*; 3 – *A. negundo*; 4 – *A. ginnala*; 5 – *A. pseudoplatanus*; 6 – *A. tataricum*; 7 – *A. semenovii*. По вертикальным осям: слева – температура воздуха, °C; справа – суточный прирост, мм

Значительные погодичные изменения в сроках начала и окончания роста побегов соответственно отражаются на продолжительности их формирования. В зависимости от вида растения она варьирует от 34 до 56 сут (табл. 3).

Установлено, что время кульминации прироста побегов *Acer* весьма существенно изменяется по годам. Раньше всех эта фаза наступает у *A. negundo* (20 VI–28 VI), а позднее – у *A. semenovii* (25 VI–24 VII). Таким образом, различия между видами по этому показателю достигают почти месяца. Величина максимального суточного прироста побегов у изученных видов клена также значительно различается. Его наибольшая величина (до 11–13 мм/сут) обнаружена у *A. negundo* и *A. semenovii*. У других изучаемых видов этот показатель меньше в 2–10 раз. Следует подчеркнуть, что погодичная изменчивость величины максимального прироста у побегов может достигать 50–400% (табл. 3).

Таблица 2

Температурный режим в период роста побегов (над чертой) и листьев (под чертой) у различных видов *Acer*

Вид	Годы наблюдений	Начало роста			Кульминация прироста			Окончание роста		
		Дата	Среднесуточная температура воздуха, °C	Сумма положительных температур, °C	Дата	Среднесуточная температура воздуха, °C	Сумма положительных температур, °C	Дата	Среднесуточная температура воздуха, °C	Сумма положительных температур, °C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Acer ginnala</i>	2001	12 VI	10.8	550	3–6 VII	20.5	889	19 VII	23.6	1150
		01 VI	8.0	363	05–08 VI	14.1	453	16 VII	23.8	1083
	2002	01 VI	20.2	300	28 VI–02 VII	15.0	770	22 VII	17.8	1158
		24 V	2.5	215	12–16 VI	13.7	526	18 VII	16.6	1081
<i>A. negundo</i>	2001	12 VI	10.8	550	25–28 VI	12.3	725	16 VII	23.8	1083
		01 VI	8.0	363	08–12 VI	12.8	503	16 VII	23.8	1083
	2002	28 V	7.5	239	24–28 VI	14.9	711	14 VII	18.5	1015
		24 V	2.5	363	12 – 16 VI	13.7	526	18 VII	16.6	1081
<i>A. platanoides</i>	2001	16 VI	16.4	602	7–10 VII	18.2	961	19 VII	23.6	1150
		01 VI	8.0	363	03–07 VII	19.6	905	16 VII	23.8	1083
	2002	01 VI	20.2	300	28 VI–02 VII	15.0	770	14 VII	18.5	1015
		24 V	2.5	215	16–20 VI	19.0	600	10 VII	21.1	928
<i>A. pseudoplatanus</i>	2001	12 VI	10.8	550	3–6 VII	20.5	889	16 VII	23.8	1083
		01 VI	8.0	363	01–05 VI	10.9	409	16 VII	23.8	1083
	2002	01 VI	20.2	300	28 VI–02 VII	15.0	770	26 VII	19.6	1236
		28 V	7.5	239	28 VI–02 VII	15.0	771	18 VII	16.6	1081
<i>A. semenovii</i>	2001	12 VI	10.8	550	25–28 VI	12.3	725	16 VII	23.8	1083
		01 VI	8	215	01–05 VI	10.9	409	16 VII	23.8	1083
	2002	01 VI	20.2	300	20–24 VII	13.4	656	26 VII	19.6	1236
		28 V	7.5	239	12–16 VI	13.7	526	22 VII	17.8	1158
<i>A. tataricum</i>	2001	12 VI	10.8	550	29 VI–2 VII	20.4	807	16 VII	23.8	1083
		01 VI	8	363	29 VI–03 VII	20.2	826	16 VII	23.8	1083
	2002	04 VI	9.1	341	24–28 VI	14.9	711	30 VII	21.5	1316
		01 VI	20.2	300	20–24 VI	13.4	656	22 VII	17.8	1158

Обнаруженная изменчивость в продолжительности и интенсивности роста побегов обуславливает и соответствующее различие в величине их годового прироста. При этом погодичная вариабельность длины побегов у всех изучаемых видов *Acer* весьма значительна, достигая 30–400 %. Из данных табл. 3 следует, что в 2001 г. самые длинные побеги сформировались у *A. negundo* (215 мм). На следующий год самые короткие побеги были характерны для этого вида, а также для *A. platanoides* (29–50 мм). Вероятно, сочетание погодных условий конкретного года специфически сказывается на интенсивности деятельности апикальных меристем того или иного вида. Анализ результатов исследований свидетельствует о том, что величина годового прироста побегов обусловлена соответствующими различиями в интенсивности роста, а не в его продолжительности. Так, длина стебля у *A. semenovii* в 1,5–2 раза боль-

ше, чем у *A. tataricum*, а продолжительность роста у них одинакова.

Физиологические реакции растений, в том числе и ростовые, определяются состоянием среды и диапазоном толерантности вида к экологическим факторам (закон Шелфорда). Следовательно, установив значение факторов среды в ключевые периоды роста, а также форму и силу связи между динамикой прироста и изменчивостью этих факторов, можно судить о степени их соответствия требованиям организма.

Результаты исследований показали, рост побегов у изучаемых видов *Acer* может начаться при повышении среднесуточной температуры воздуха до 9–11°C (табл. 2). Кроме того, начало этой фенофазы зависит и от температуры воздуха предшествующего периода. К этому времени сумма положительных температур достигает 239–241°C.

Таблица 3

Некоторые характеристики прироста побегов (над чертой, мм) и листьев (под чертой, мм²) у различных видов *Acer*

Вид	Годы наблюдений	Максимальный суточный прирост	Годичный прирост	Продолжительность роста, сут
<i>Acer ginnala</i>	2001	4.2 123	72 3680	37 46
	2002	2.2 118	58 4020	52 55
<i>A. negundo</i>	2001	12.7 150	215 4950	34 46
	2002	2.0 112	50 5010	52 55
<i>A. platanoides</i>	2001	1.2 302	29 10670	34 46
	2002	1.2 305	38 10460	44 47
<i>A. pseudoplatanus</i>	2001	8.2 628	179 18540	34 46
	2002	2.7 542	86 18020	56 51
<i>A. semenovii</i>	2001	11.2 110	174 3720	34 46
	2002	2.7 102	109 4080	56 55
<i>A. tataricum</i>	2001	3.2 112	65 4270	34 46
	2002	3.2 145	77 5130	56 52

Таблица 4

Коэффициент корреляции между экологическими факторами и приростом вегетативных органов различных видов *Acer*

Вид	Годы наблюдений	Температура воздуха	Влажность воздуха	Атмосферные осадки	Солнечная радиация
побеги					
<i>Acer ginnala</i>	2001	0.12	0.62	0.10	0.58
	2002	0.10	0.16	0.50	0.14
<i>A. negundo</i>	2001	0.72	0.19	0.22	0.12
	2002	0.62	0.37	0.15	0.10
<i>A. platanoides</i>	2001	0.29	0.45	0.12	0.52
	2002	0.27	0.20	0.25	0.15
<i>A. pseudoplatanus</i>	2001	0.03	0.89	0.36	0.81
	2002	0.11	0.12	0.48	0.52
<i>A. semenovii</i>	2001	0.34	0.68	0.45	0.54
	2002	0.29	0.34	0.44	0.18
<i>A. tataricum</i>	2001	0.26	0.69	0.40	0.55
	2002	0.14	0.20	0.33	0.20
листья					
<i>Acer ginnala</i>	2001	0.58	0.21	0.20	0.12
	2002	0.31	0.42	0.37	0.37
<i>A. negundo</i>	2001	0.46	0.30	0.17	0.19
	2002	0.52	0.60	0.41	0.20
<i>A. platanoides</i>	2001	0.30	0.17	0.08	0.66
	2002	0.16	0.15	0.04	0.44
<i>A. pseudoplatanus</i>	2001	0.66	0.38	0.43	0.20
	2002	0.44	0.17	0.41	0.09
<i>A. semenovii</i>	2001	0.73	0.49	0.19	0.25
	2002	0.54	0.50	0.25	0.37
<i>A. tataricum</i>	2001	0.23	0.16	0.10	0.12
	2002	0.33	0.35	0.27	0.12

Во время прекращения роста побегов среднесуточная температура воздуха и сумма положительных температур варьируют в довольно широких пределах $-17,8-23,8^{\circ}\text{C}$ и $1015-1316^{\circ}\text{C}$ соответственно. Эти данные свидетельствуют о том, что сроки прекращения этой фенофазы у представителей рода *Acer* не связаны с температурным режимом, а скорее всего, обусловлены генотипом вида. Следовательно, тепла вполне достаточно для завершения годичного цикла развития вегетативных почек для всех изучаемых интродуцентов, что хорошо согласуется с выводами Л. А. Фроловой [12] и И. Т. Кищенко [13].

Требовательность растения к температуре воздуха в период максимального прироста побегов у различных видов *Acer* почти не различается. Кульминация прироста побегов может наступить уже при повышении среднесуточной температуры воздуха до $13-15^{\circ}\text{C}$. Между тем, сумма положительных температур в этот период варьирует в широких пределах ($656-965^{\circ}\text{C}$), что указывает на отсутствие заметного влияния данного параметра на интенсивность прироста побегов изучаемых видов.

Данные табл. 4 свидетельствуют о том, что между интенсивностью роста побегов и температурой воздуха, как правило, прослеживается достоверная положительная и довольно слабая корреляция ($r=0,3$). Наиболее сильная подобная связь характерна для *A. negundo* ($r=0,6...0,7$).

Между динамикой суточного прироста побегов и изменчивостью относительной влажности воздуха также обычно прослеживается положительная корреляция слабой и средней силы ($r=0,2...0,5$). Примерно такой же характер корреляции выявлен и между динамикой прироста побегов изучаемых видов *Acer* и выпадением атмосферных осадков.

Зависимость интенсивности роста побегов от солнечной радиации выражена еще менее заметно ($r=0,2...0,3$).

Проведенные исследования позволили установить, что сроки начала роста листьев (фенофаза «обособление листьев на побегах») изучаемых видов *Acer* могут варьировать в пределах

3–7 сут (рис. 2). Наступление этой фенофазы за годы исследований наблюдалось 24 V–1 VI. Погодичная изменчивость в сроках прекращения роста листьев составляет не более 3–6 сут. Наблюдается эта фенофаза 10–22 VII, причем у *A. platanoides* на несколько сут раньше, чем у других видов. Незначительные погодичные различия в сроках начала и окончания роста листьев обуславливают и небольшие изменения в продолжительности их формирования у тех или иных видов *Acer*. В зависимости от года исследования продолжительность роста листьев может изменяться от 46 до 55 сут (табл. 3).

Установлено, что время интенсивного прироста листьев довольно сильно связано с видовыми особенностями и из года в год может существенно варьировать. В первую половину июня эта фаза уже наступает у *A. ginnala*, *A. semenovii* и *A. negundo*, а у других видов – во вторую половину июня и начале июля. Величина максимального прироста листьев у разных видов *Acer* существенно различается. Его наибольшее значение (в среднем 570 мм/сут) обна-

ружено у *A. ginnala*; у других видов этот показатель в 1.5–5 раз меньше. Следует отметить, что величина максимального прироста листьев у изучаемых видов *Acer* за годы исследований оставалась постоянной (табл. 3).

Значительная изменчивость интенсивности роста листьев обуславливает соответствующие различия в величине их годового прироста. Площадь листовой пластинки у *A. ginnala*, *A. semenovii* и *A. tataricum*, сформированной в разные вегетационные периоды, различалась не более чем на 8–16%, а у других видов оставалась практически без изменений. Из данных табл. 3 следует, что наибольшая площадь листа (в среднем 1.8 дм²) формируется у *A. pseudoplatanus*, у *A. platanoides* она почти в 2 раза меньше, а у остальных видов она достигает всего 0.4–0.5 дм². Различия в величине данного показателя обуславливаются интенсивностью, а не продолжительностью роста листьев. Так, площадь листа у *A. pseudoplatanus* в 4.5 раза больше, чем у *A. semenovii*, а продолжительность роста примерно такая же.

По данным трехлетних наблюдений, начало роста листьев при самой низкой среднесуточной температуре воздуха (2,5°C) отмечается у *A. ginnala* и *A. negundo* (табл. 2). Между тем начало данной фенофазы у других видов может отмечаться только при повышении температуры до +8°C. Рост листьев по площади заканчивается в самый теплый за вегетацию период (17–24°C), когда сумма положительных температур достигает 928–1158 °C.

Требовательность растений к температуре воздуха в период максимального прироста листьев в значительной степени определяется биологией вида. Так, его наступление у *A. platanoides* отмечено при температуре воздуха около 19°C, а для других видов – всего при 13–14°C. Между тем сумма положительных температур в этот период варьирует в широких пределах (409–905°C), что указывает на отсутствие явного влияния данного параметра на интенсивности прироста у всех изучаемых видов.

Проведение корреляционного анализа позволило установить, что так же, как и в отношении стеблей, между интенсивностью роста листьев, с одной стороны, и динамикой температуры и влажности воздуха, атмосферных осадков и солнечной радиации, с другой стороны, обычно прослеживается положительная и довольно заметная зависимость (табл. 4).

ВЫВОДЫ

1. Рост листьев у изученных видов *Acer* начинается в конце мая, а побегов – в первой половине июня. При этом различия между видами не превышают 3–4 суток.
2. Время прекращения роста побегов и листьев у разных видов *Acer* отличается не более чем на 3–7 суток и наблюдается во второй половине июля.

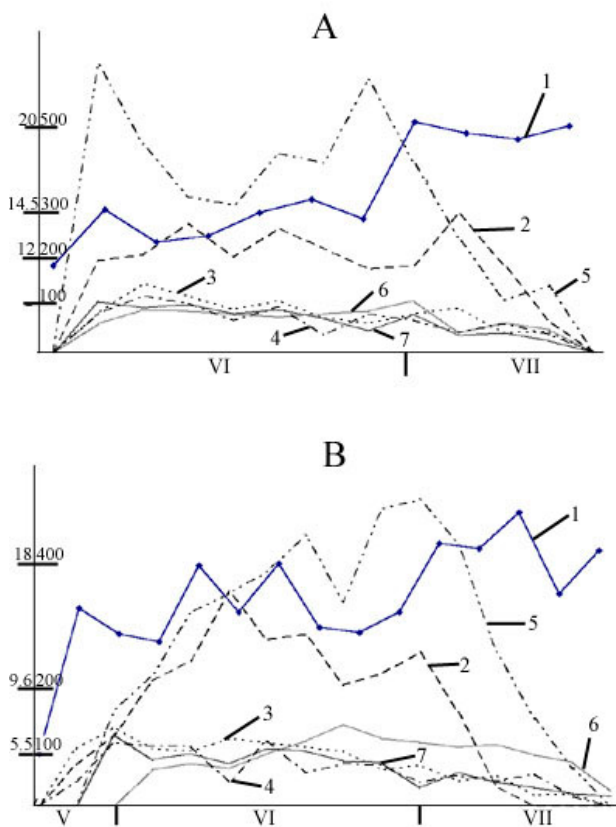


Рис. 2. Сезонная динамика температуры воздуха и суточного прироста листьев различных видов *Acer*

Годы: А – 2001, В – 2002. 1 – температура воздуха, 2 – *Acer platanoides*; 3 – *A. negundo*; 4 – *A. ginnala*; 5 – *A. pseudoplatanus*; 6 – *A. tataricum*; 7 – *A. semenovii*. По вертикальным осям: слева – температура воздуха, °C; справа – суточный прирост, мм²

3. Благодаря максимальной интенсивности ростовых процессов наибольшая площадь листовой пластинки формируется у *A. pseudoplatanus* и у *A. platanoides*. Величина годового прироста побегов у изученных видов претерпевает значительные изменения.
4. Сроки начала и кульминации прироста побегов и листьев определяются в основном температурой воздуха, в связи с чем они могут испытывать погодичную изменчивость в пределах 1–3 недель.
5. Между интенсивностью прироста побегов и листьев, с одной стороны, и динамикой температуры и влажности воздуха, атмосферных осадков и солнечной радиации, с другой стороны, обычно прослеживается положительная и довольно заметная зависимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калущкий К. К., Болотов Н. А. Биоэкологические особенности лесной интродукции // Лесная интродукция. Воронеж, 1983. С. 4–14.
2. Лапин П. И. Сезонный ритм развития древесных растений и его значение для интродукции // Бюл. ГБС АН СССР. 1967. Вып. 65. С. 12–18.
3. Логинов В. Б. К методике построения частных теорий интродукции // Теории и методы интродукции растений и зеленого строительства: Материалы. Респ. конф. Киев, 1980. С. 58–60.
4. Шестопалова В. В. Итоги интродукции сосновых (*Pinaceae* Lindl.) на Среднерусской возвышенности и перспективы их использования: Автореф. дисс... канд. биол. наук. Киев, 1982. 22 с.
5. Мисник Г. Е. Сроки и характер цветения деревьев и кустарников. Киев: Наука, 1976. 215 с.
6. Колесниченко А. Н. Сезонные ритмы развития древесных интродуцентов // Охрана, изучение и обогащение растительного мира. Киев, 1985. С. 21–32.
7. Шутилов В. А. Интродукция видов рода клен в Камышинском дендрарии // Бюллетень ВНИИ агролесомелиорации. 1990. С. 32–44.
8. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья. 1995. 992 с.
9. Самцов А. С. Динамика роста листьев дуба черешчатого // Ботаника, исследования. 1966. Вып. 8. С. 52–61.
10. Молчанов А. А., Смирнов В. В. Методика изучения прироста древесных растений. М.: Наука, 1967. 95 с.
11. Шкутко Н. В. Хвойные Белоруссии. М.: Наука, 1991. 263 с.
12. Фролова Л. А. Влияние температуры воздуха на сезонное развитие сосен в Ботаническом саду МГУ на Ленинских горах // Термический фактор в развитии растений различных географических зон: Тезисы докл. Всесоюз. конф. М., 1979. С. 37–39.
13. Кищенко И. Т. Рост и развитие аборигенных и интродуцированных видов семейства *Pinaceae* Lindl. в условиях Карелии. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2000. 211 с.

АНДРЕЙ ВИКТОРОВИЧ КОРОСОВ

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

СИСТЕМЫ И ЭКОСИСТЕМЫ

Понятия «закономерность» и «системность» не коррелируют. Закон выражает устойчивое отношение объектов (явлений) природы. Система – это метод целесообразного научного мышления, а не часть природы. Если эти понятия отделить, поиск эмпирических законов природы с помощью моделирования станет более эффективным.

Ключевые слова: системный подход, моделирование, экосистема

Главное место в экологии (речь пойдет о биологическом аспекте этой науки) до сих пор занимает поиск и констатация новых фактов. В последнее время эти описания обрели количественную форму статистического (часто многомерного) анализа. Между тем предназначение эмпирической науки состоит в поиске закономерностей. «Научное познание предполагает... нахождение эмпирических зависимостей между отдельными параметрами... системы... и объяснение установленных фактов» [1]. К сожалению, в литературе редко встречаются примеры построения (имитационных) моделей конкретных экологических процессов, которые воссоздавали бы явление не по частям, но в целом, реконструировали бы причинно-следственные связи, обнажали преемственность происходивших событий, т. е. представляли информацию об изучаемом объекте в форме знания, а не набора фактов.

На наш взгляд, этому мешает не только широко распространенное мнение о чрезмерной сложности процедуры построения моделей, которое вполне просто решается в среде пакета Excel [2]. Основная проблема кроется в укорен-

ившейся привычке биологов не обращать внимание на главный инструмент научного поиска – на *собственное мышление*. Привычное мнение «нет алгоритма творчества» опирается на авторитетные мнения. «Мало у кого есть талант для открытия... Это догадка... а не плановый процесс, контролируемый логикой» [3]. В результате складывается ситуация, когда «мышление о мышлении отстало от мышления обо всем прочем» [4]. Если же принять, что «главная цель любой науки состоит в том, чтобы ... показать, что сложность, если смотреть на нее под верным углом зрения, оказывается всего лишь замаскированной простотой...» [5], то стоит задуматься о способах взглядывания в природу.

Одним из эффективных методов познания является *системный подход*. Наиболее существенное свойство системного подхода состоит в его ясной целесообразности: он ориентирован на создание максимально прозрачной и конкретной (количественной) модели объекта исследования [6]. «Специфика системных исследований заключается в отыскании методов адекватного упрощения сложных систем» [7]. Системный

подход помогает оптимальным образом организовать ход решения задач. Он предлагает проверенные веками методы мышления, системные принципы, предписывающие эффективный алгоритм всему ходу исследования. Примером построения изобретений с помощью системного подхода является теория решения изобретательских задач (ТРИЗ), разработанная советским инженером Г. С. Альтшуллером [8] как раз для преодоления стереотипов мышления. Одно из основных достижений этой теории состоит в создании технологии творческого процесса изобретения – алгоритма решения изобретательских задач (АРИЗ). Результаты применения ТРИЗ поражают воображение. Например, в последнее время фирма Boeing Corporation, взявшая на вооружение метод, добилась значительных успехов и не желает публиковать наработки, «чтобы они не оказались... у конкурентов», в Samsung Electronics работают более 80 сертифицированных ТРИЗ-специалистов (<http://www.ariz.ru/casesboeing.php>). В общем, правоту Г. Селье доказывают его оппоненты: пока человек не научится понимать ход своей мысли, озарения останутся уделом единиц.

К сожалению, в последнее время идеи и технологии системного подхода к эколого-биологическим явлениям почти не развиваются. Ключевой термин «система» употребляется по большей части не к месту, теряя свое содержание и значение. Анализ публикаций по курсу «концепции естествознания» [9] показал, что понятие системы употребляется в самой простой форме (совокупность взаимодействующих частей, порождающая новое свойство, отсутствующее у элементов) без указания на его методологический характер, а многие ценные наработки системного подхода просто игнорируются. С другой стороны, системные идеи воплотились в ряд сложных специальных дисциплин, имеющих с системным подходом лишь общие корни, отвлекая внимание исследователей от методологических проблем. Очень грубо направления системных исследований можно объединить в четыре группы [10] – это системотехника (исследование поведения математических систем математическими методами), системный анализ (теория и методика решения проблем, в технике – ТРИЗ), теория систем (онтологический аспект системной организации) и собственно системный подход. Несмотря на обилие публикаций, в которых используется термин «система», «системный», остро чувствуется дефицит в определенности многих его положений.

Предпринимая наше исследование, мы рассчитываем на популяризацию системной идеологии в области моделирования эколого-биологических явлений. Главная цель работы – выявление тупиков в изложениях системных идей, поиск путей их преодоления, упрощение и конкретизация системных принципов мышления об объектах природы, демонстрация путей конструирования моделей. Данная публикация касается только принципа системности.

ПРИНЦИПЫ СИСТЕМНОГО МЫШЛЕНИЯ

Системный подход мы вполне традиционно рассматриваем как общенаучную методологию, как единство приемов проведения научного исследования. Анализ достаточно обширной литературы позволил нам сформулировать семь тезисов [11], соответствующих принципам (законам) системного мышления, называемых в литературе разными именами. Каждый из принципов представляет собой эмпирическое обобщение, которое апробировалось иногда не одну сотню лет и вошло в сферу научной мысли как полезное методологическое правило. «Системные законы» проявляются в виде аналогий, или «логических гомологий», законов, представляющих формально идентичными, но относящихся к совершенно различным явлениям или даже дисциплинам» [12]. В своих наиболее законченных формах они образовали логически замкнутое множество (систему), в котором каждый из принципов может быть путем умозаключений выведен из 2–3 других (этот анализ требует отдельной публикации). Предполагая в будущем уделить внимание всем принципам, рассмотрим их краткие формулировки.

Системность. Любой объект (явление) природы можно представить обособленной системой, то есть применить к нему системные принципы и построить его модель.

Целесообразность. Удовлетворяя наши научные или практические потребности, мы назначаем системой те объекты, которые являют себя, значимо функционируют. Система – это то, что мы считаем системой (условно отделяем от природы), исходя из наших целей.

Структурно-функциональная организация. Систему можно описать через описание элементов (частей) и связей (отношений) между ними.

Эмерджентность. Взаимодействие элементов производит свойства (функции) системы путем существенного усиления некоторых свойств ее элементов.

Иерархия. Элемент системы – сама система, а система – элемент надсистемы; можно рассматривать много уровней иерархии (оптимально – три).

Целостность. Взаимодействие элементов ограничивает реализацию их потенциалов, тем самым стабилизирует существование системы, обеспечивает функционирование (и развитие).

Развитие (историзм). Эволюция системы состоит в дифференциации и интеграции – в появлении новых способов интеграции некоторых элементов системы в ее пределах, в появлении новых уровней иерархии; при этом меняется число элементов, число и характер отношений между ними, эффективность (эмерджентность) и целостность системы.

Центральное место системный подход отводит понятию «система» (systema – «целое»). Каждый принцип формулирует это понятие со своей точки зрения. Основная наша установка

состоит в том, что *система – это не объект (природы), а способ мышления (о ней)*; понятие системы нельзя нагружать онтологическим смыслом. Эта точка зрения не нова. «...Попытки построения теории систем, основанной на понятии силы ... удовлетворяют лишь своих создателей» [13]. «Системность предстает ... как современный способ видения объекта и стиль мышления, сменивший механистические представления и принципы интерпретации» [14]. Однако в повседневной практике научного поиска доминирует прямо противоположная формула. «Изоморфизм образа и объекта является частным случаем изоморфизма структуры мышления и структуры объективного мира» [15], «системный подход получил свою жизнь от свойства «системность» объектов реального мира (мать) и системного мышления субъекта (отец), объективно отражая системные свойства сложноорганизованных систем, на основе материалистической диалектики» [16]; «согласно современным научным взглядам на природу все природные объекты представляют собой упорядоченные структурные иерархически организованные системы» [17]. Данная позиция («мышление системно потому, что отражает системную структуру природы») имеет три по-своему ложных основания (мышление системно, природа системна, мышление соответствует природе). Нам кажется, что подходить к определению принципа системности лучше всего через критику «овеществленного» понятия «система».

«МЫШЛЕНИЕ СИСТЕМНО»

Системное видение мира – это, прежде всего, возможность применять наработки системного подхода, принципы системного мышления, то есть в самом широком смысле – способность логически мыслить. Исторический опыт показывает, что люди часто ошибаются в своих суждениях, нарушают даже «законы» формальной логики (тождества, противоречия, исключения третьего). «Ведь человеческий ум, затемненный или как бы заслоненный телом, ... скорее подобен какому-то колдовскому зеркалу, полному фантастических и обманчивых видений» [18]. «У разных лиц умственные образы, соответствующие одному и тому же понятию, различны» [19]. «...Люди сплошь да рядом мыслят весьма нелогично. Даже элементарно нелогично, не говоря уже о логике более высокого порядка» [20]. Уже давно «законы» формальной логики переведены в разряд рекомендаций, правил составления непротиворечивых формально-логических высказываний (включая правила составления и решения математических уравнений). Принципы системного мышления в этом отношении от них не отличаются – это всего лишь алгоритмы проведения эффективных размышлений, ведущих к построению моделей (в том числе и количественных). В отличие от формальной

логики, системные принципы ориентированы на этапы мышления, предшествующие формальным построениям, системная логика создает формы мысли, поставляет объекты формальной логике. Например, важнейший прием определения (формально-логических) понятий – это прием «деление понятий» [21], но он никак не определяется формально-логическими операциями, а целиком передается в область интуиции и «здорового смысла». Системный подход предлагает правила такого «деления», определяя его «цель» (предназначение) и композицию (структуру) (вопрос о соотношении формальной и системной логики требует отдельной публикации). Иными словами, системный подход предстает как свод правил эффективного мышления. Может ли человек невольно нарушить эти рекомендации? Естественно, может. Чаше, однако, люди сознательно им не следуют, считая системный подход ненужной философией. Здесь можно лишь напомнить справедливые слова классика марксистской философии. «Какую бы позу не принимали естествоиспытатели, над ними властвует философия. Вопрос лишь в том, желают ли они, чтобы над ними властвовала какая-нибудь скверная модная философия, или же они желают руководствоваться такой формой теоретического мышления, которая основана на знакомстве с историей мышления и ее достижениями» [22]. В общем случае такое мышление нельзя назвать системным. Только сознательное применение наработок системного подхода можно назвать системным подходом, который помогает исследователю скорейшим образом прийти к его цели – построению строгой (лучше количественной) модели объекта. Можно ли считать, что только системное мышление является правильным? Очевидно, нет, поскольку до сих пор большинство ученых не применяло системные принципы явно, а выдающиеся успехи науки налицо.

Конечно, мышление могут назвать системным приверженцы (по-нашему, ложной) идеи считать все объекты природы системами. С этих позиций и верные суждения, и ложные будут системными «по природе вещей». Но какой прок от такой теории? Разве абсурдная сентенция: «Пусть я мыслю ошибочно, но зато системно» может подвинуть нас в познании чего бы то ни было? Очевидно, нет. Другое дело, если с помощью системных принципов ошибочная мысль будет проанализирована (представлена в виде системы), будет найден источник эмерджентности (общей ложности суждения) – неверный постулат, суждение или факт – и выработаны рекомендации, как его исправить. В этом процессе системный подход будет полезен и приведет к позитивному, полезному результату (по словам П. Л. Капицы, «ничто так не поучительно, как заблуждение гениев»). Системный подход – это всего лишь один из возможных методов познания, однако, как показывает практика, весьма эффективный.

«ПРИРОДА СИСТЕМНА»

Такая постановка вопроса имеет корни в афоризме автора теории систем Л. фон Берталанфи: «Кругом системы». В свое время он был очень полезен, поскольку стимулировал продвижение системных идей в практику научного познания. Со временем он стал очевидным тормозом к дальнейшему развитию системного подхода, поскольку последовательное проведение в жизнь идеи системности природы ведет к неискоренимым противоречиям и недоразумениям, отрицающим значимость системных идей в биологии. К тому же, считая природу системной, велик соблазн объявить свои системные представления истинными. Рассмотрим широко известную *онтологическую* трактовку принципа иерархии, который явно мешает развитию моделирования в биологии. Дело в том, что традиционно иерархии понимаются как сугубо статические образования. Многочисленные исследования уровней иерархии природы проводятся как бы на трупe природного тела – в работах приводятся только морфологические деления: ... вещество..., макромолекулы..., клетка, ткань, орган, организм, группировка..., популяция, ценоз, экосистема ... и пр. [23] Безусловно, эти иерархии даже в статическом аспекте являют собой полезные упрощения разнообразной живой природы. Но при анализе их функционирования, при построении моделей жизненных отклонений эти иерархии никакой пользы не приносят. Например, грубая модель функции дыхания животного должна включать в себя, как минимум, *клетки* рецепторов-газоанализаторов (оценка уровня рН в гипоталамусе), нервную *ткань* дыхательного центра, *систему органов* грудной клетки (обеспечивающую нагнетание воздуха), *орган* легкое, *смесь газов* воздуха, кровеносно-сосудистую *систему* органов. Все части этой модели взяты с 5 разных (даже не смежных) уровней статической иерархии! Какую роль играет общепринятая «иерархия природных объектов» в построении данной модели? В лучшем случае никакую, если не отрицательную! Действительно, автор модели должен явно *отказаться* от применения идеи статичной иерархичности, поняв, что в пределах организма различные функции организма «пронизывают» его «насквозь в разных плоскостях» и задействуют части, относящиеся (надо говорить – «относимые») к *разным* уровням иерархии. Классификация по уровням иерархии оказывается не только ненужной, но еще и отнимает силы на свое отрицание! Каково должно быть отношение исследователей к системному подходу, если первое, что они должны сделать для понимания своего объекта, это – отказаться от готовых наработок системного подхода, от иерархий? Конечно, отрицательное. Возможно, потому системные идеи, значит и моделирование, не очень широко внедрились в биологию,

что системный подход не развивается, но сохраняется в многочисленных публикациях в зачаточной форме, на стадии его создания. Редкий пример системного подхода к иерархии находим в работах П. К. Анохина, который целенаправленно применил системные принципы к поведенческой функции, процессу, включив в «функциональную систему» компоненты, относящиеся к разным уровням статической иерархии. «Состав функциональной системы не определяется топографической близостью структур... В нее могут быть избирательно вовлечены как близко, так и отдаленно расположенные структуры организма. Фактором, определяющим избирательность этих соединений, является ... физиологическая архитектура самой функции» [24]. Этот пример показывает, что иерархические построения целесообразны, а не естественны.

Безусловно, природа дискретна; энергия «распылена» в пространстве не гомогенно, но образует овеществленные «сгустки» – частицы, молекулы ... биосферу ... Вселенную. Однако что меняется, если кроме признания дискретности природы, мы будем утверждать, что она «системна»? Зачем вводить еще одно слово, не добавляющее смысла в исследование? Появление смыслового содержания термина можно выяснить, отслеживая этапы познания, на которых вводится этот термин. Чаще всего термин «система» вводится *после* исследования природного объекта (явления), и его части называются элементами, а соединения частей – связями. Например, определив соотношение разновозрастных групп в популяции, их можно было бы смело называть элементами целого. Однако эти дефиниции будут представлять собой избыточные (то есть бессмысленные) тавтологии, поскольку все объекты исследования уже получили свои специальные экологические определения (новорожденные, прибылые, взрослые, старые ...). Если же, приступая к исследованию неизвестного объекта, мы *перед* исследованием предположим наличие у него элементарных частей и связей между ними, направив внимание на их идентификацию, на исследование их свойств и способы объединения в целое, то в этом случае придется признать, что система есть прием мышления, способ анализа. Как только части получают свое предметное (желательно количественное) определение, необходимость в системной терминологии отпадает! К сожалению, в экологической литературе часто можно встретить системную терминологию, которая вводится в текст явно после завершения исследований (на стадии подготовки публикации) и свидетельствует о том, что системный подход в данном случае как раз не применялся. «Система» – это априорная конструкция мысли о любом объекте природы. Познание законов его функционирования отбрасывает системную терминологию, которая заменяется специальной. Результатом исследования становится модель объекта (закон, тео-

рия), выраженная на специальном языке данной науки. Поскольку познание бесконечно («электрон так же неисчерпаем, как атом»), то малоизученный компонент этого объекта вновь может быть назван системой и подвергнут последовательному системному анализу до стадии выяснения своей предметной сущности. Однако правильно выполненное системное исследование не должно оставлять после себя следы в тексте специальной публикации в форме общих терминов «система», «элемент», «уровень иерархии» и пр. (кроме системного исследования сущности системного исследования).

Говоря о системной организации вещей, часто подчеркивают их самодостаточность, «цельность от природы», «целостность», способность к самостоятельному существованию в отличие от объектов, не способных к этому (особенно часто противопоставляется управляемая система организма и хаос среды). С этой позиции в природе есть «системы», а есть «не-системы». Подобная трактовка прямо отрицает универсальность системных принципов, их общенаучное методологическое содержание. Во-первых, в разряд не-систем можно отнести все, что непонятно! Во-вторых, начинается выявление «истинных» систем с использованием разнообразных критериев, главный из которых – способность к относительно самостоятельному существованию. Например, особь по общему признанию является безусловной системой. Однако определение «самодостаточная особь малой бурозубки» актуально лишь в течение часа, после чего без пищи это очень маленькое теплокровное животное погибает. Следовательно, в определение «самодостаточная особь малой бурозубки в течение дня» необходимо включать пищу массой 5 г. (в течение суток она потребляет кормов объемом около 100% от собственной массы), а также потребленный кислород, растения, его вырабатывающие и ... в конечном итоге, всю биосферу. Есть другой путь – принять, что определение особи целесообразно ограничено по времени (в разных ситуациях разное), по пространству и по веществу (говорят, что особь – «открытая система, обменивающаяся со средой энергией»). Особенно четко такого рода конвенции выражают географы в процессе вычленения природных геосистем: «Ландшафт – реальность, выделение компонентов – уже абстракция» [25], «границы лишь изображают, но не изображаются» [26]. Такой подход общепринят и в философии: «...Чтобы понять отдельные явления, мы должны вырвать их из всеобщей связи и рассматривать их изолированно, а в таком случае сменяющиеся движения выступают перед нами – одно как причина, другое как действие» [27]. В нашем контексте такая постановка вопроса означает признание условности, искусственности любой выделяемой системы, а поэтому вовсе не «цельной» и не самодостаточной. Итак, «цельных от природы» систем нет, не-систем тоже нет, все – системы. Но тогда онтологическое понятие системы не нужно – зачем

называть все и любые объекты одним и тем же именем? Другое дело, если системой назвать отдельный объект, условно и временно отделенный от всех прочих, ставших для него не-системой (неанализируемой) средой. В этом случае появляется возможность, используя системные принципы мышления, достаточно быстро количественно изучить объект, построив его модель. Дискретные объекты существуют в природе, системы – в головах авторов.

Для современного этапа характерно, кроме того, поверхностное отношение к объяснению и демонстрации системного метода познания, включая определение ключевого термина «система» с помощью критерия «целостности» данного образования. «...Свойства простых совокупностей аддитивны, то есть суммируются или складываются из величин их частей... свойства систем как целостных образований неаддитивны... Кучу камней вряд ли кто-либо назовет системой, в то время как... сообщества живых существ всякий будет интуитивно считать системой» [28]. Такой аргумент разрушает представление о системном методе как в онтологическом, так и методологическом смысле. У «кучи» камней не просто есть целостные свойства (усиленные при взаимодействии компонентов), но их число бесконечно велико. Так, очень большие груды камней или льда (планета, комета) имеют форму шара – это результат гравитационного взаимодействия не абсолютно прочных материалов. В горах камней (между которыми находится воздух) на полях Карелии формируются очень специфические температурные условия, не выводимые из суммы теплопроводных свойств камней и воздуха. Поскольку сквозь груды не могут прорасти деревья и травы, они открыты солнцу и являются аккумуляторами тепла; по этой причине их периферия занята свето- и теплолюбивыми растениями, а внутри гряд зимуют многие организмы (рептилии, насекомые). Главная же ошибка цитированного утверждения состоит в том, что системный подход призван организовать мысль, а не вывести из ее поля зрения непонятые явления. Любой объект природы можно представить системой. И любой объект (духовный, интеллектуальный, социальный, биологический, неорганический) обладает своими особыми свойствами, связанными с интеграцией частей. Причем число этих эмергентных качеств по определению бесконечно и среди них есть как аддитивные, так и суб- и супрааддитивные и т. д. [29]. Нельзя обеднять содержание принципа системности только потому, что некоторые объекты природы специфичны. Понятие системы лишено эмпирического содержания, это формула мысли.

«МЫШЛЕНИЕ СООТВЕТСТВУЕТ ПРИРОДЕ»

Мы беремся за обсуждение этого сложнейшего вопроса только потому, что стремимся

получить частное решение – показать путь построения количественной модели явления природы с помощью понятия «система». Модель – это предметное, конкретное выражение специфических свойств объекта исследования. Качественная или количественная *модель* – это заместитель оригинала, слепок, образ реального прототипа. Воплощая в себе некоторые его свойства (аналогичным образом реагируя на аналогичные стимулы), модель может служить источником информации о реальном объекте исследования. Эти вопросы детально рассмотрены нами ранее [30]. Модель, как и любое знание, лишь только в некоторых чертах соответствует образцу. «Всякая гипотеза является обобщенной *моделью* некоторого явления» [31]; «...мы стремимся познать природу, которая действительно существует... Мысля предметы, мы тем самым превращаем их в нечто всеобщее ... Мы превращаем <природу> ... в нечто иное, чем она» [32]; «...непосредственная данность, если вы хотите ее осознать, превращается в некую абстрактную структуру... Вместо живой непосредственной данности вы получаете логически осознанную закономерность» [33]. Коренная причина неизбежной неполноты модельных представлений состоит в том, что природные объекты безграничны в своих проявлениях («электрон также неисчерпаем, как атом»), а мысль (и модель) отображает лишь некоторую часть их свойств, значимых для исследователя. Модельные построения ограничены, поскольку целесообразны, состав и структура модели всегда соответствуют интересам исследователя. «Границы разбиения на подсистемы определяются целями» [34]; «проведение границ между экосистемами всегда есть до некоторой степени условность ... между экосистемами обязательно существует обмен веществом и энергией» [35]. Специфика объекта исследования никогда не диктует ни тип выбранной модели, ни математическую форму для выражения наблюдаемых закономерностей. «Исследователь является творцом модели» [36]; «одно и то же явление может быть адекватно объяснено с помощью разных математических уравнений» [37]. Иными словами, мышление непосредственно не соответствует природе. Если бы природа была системна, то наши знания (и модели) не могли быть в той же мере системными. Скорее напротив – наши знания могут (и должны) быть системно организованными, чтобы максимально целесообразно и прозрачно отображать способы существования объектов природы, которым присуща не системность, а дискретность.

Может показаться, что наша аргументация, направленная против овещствления понятия «система», явно порождает противоречие. Ведь в разных областях науки выработано большое число полезных работоспособных системных представлений действительности, существенно

помогающих в процессе исследований природы. В этот обширный список входят понятия «солнечная система», «неравновесная система», «кровеносная система», «экологическая система». Спрашивается, разве экосистема – не система?

Экосистема – это не система, но природный объект (явление), часть природной среды, обладающая вполне самостоятельной судьбой и способная к относительно самостоятельному существованию. В этом термине слово «система» является синонимом слова «объект» и омонимом слова «система» из системного подхода. С его позиций экосистему можно всего лишь *представить* системой для глубокого и целенаправленного изучения ее сущности, механизма функционирования и динамики. Экологические исследования последнего века наполнили понятие экосистемы специфическим структурным и функциональным содержанием, характеризующим именно и только надорганизменные объединения. При этом понятие *экологической* системы утратило ряд общесистемных свойств, присущих логическому понятию «система». Система – это нечто безразмерное и вневременное, понятие, приложимое к любому объекту или процессу (алгоритм мысли). Экосистема же локализована в пространстве, обладая относительно небольшими размерами (например, «биогеоценоз» ограничен десятками гектаров); понятие экосистемы в большей мере относится к веществу природы, а не к процессу (в отличие, например, от понятия сукцессии). Несмотря на многокомпонентность, понятие экосистемы несет биологическое содержание и рассматривает в первую очередь функционирование биологических объектов (биоценозы), отставляя другие компоненты геосистем несколько в сторону.

Такого рода целесообразные логические конструкции (проверенные практикой формальные схемы декомпозиции объектов исследования, системные построения частных наук) предложено называть *фреймами* (логическими каркасами) [38]. «...Мы имеем в науке многочисленные логические построения, которые связывают научные факты между собой... – научные теории, научные гипотезы, рабочие научные гипотезы, конъюнктуры, экстраполяции и т. п., достоверность которых обычно небольшая, колеблется в значительной степени; но длительность существования их в науке может быть иногда очень большой, может держаться столетиями» [39], «попытка подведения каждой новой проблемы под известный класс проблем является одним из важнейших эвристических правил научного исследования» [40]. Основное содержание современной биологии составляют полуэмпирические структурно-функциональные схемы, фреймы. *Понятие экосистемы – это фрейм*. Понятие фрейма призвано отображать некий этап сознательного применения системных идей в движении мысли



Рис. 1. Место «системы» в процессе модельного исследования объекта природы

1 – Вычленение и наблюдение объекта природы; 2 – Обобщение накопленных данных в форме первичных гипотез и теорий; 3, 4 – Создание фреймов с помощью известных теорий и системных идей; 5, 6 – Построение и настройка структуры моделей; 7 – Численная настройка моделей (оценка параметров); 8 – Интерпретация модели, включение в теорию, формулировка закона

исследователя от объекта исследования и «системы» – к модели (рис. 1).

Фреймы имеют двойственную природу. В первую очередь, они представляют собой результаты предыдущего законченного исследования, глубоко специфический (системный) образ объекта природы. Например, знание, полученное в отношении структуры многих популяций животных, позволяет сформулировать определение: «Под структурой популяции ... имеются в виду любые подразделения популяции как единичного целого на связанные в определенном порядке части. При этом возникает возможность говорить о половой, возрастной, пространственной, генетической и экологической структурах» [41]. Это определение охватывает широкий класс явлений, но не все. Некоторые даже высшие животные образуют партеногенетические популяции (100% самок), не имеющие поэтому никакой «половой структуры»; в предложенном списке «структур» не упоминается этологическая. Следовательно, общие знания о структуре популяции имеет смысл фрейма, логической схемы с невысокой степенью достоверности, не соответствующей статусу закона. С другой стороны, подобные определения биосистем служат одновременно и хорошим руководством к действию. Следуя приведенной дефиниции и приняв некий объект природы в качестве популяции, можно приступить к поиску конкретных значений обилия, долей, соотношений их компонентов, численно оценивать предзаданные структурные единицы, то есть наполнять первичную простую схему предметным содержанием, строить модели (конкретное соотношение полов в данной популяции есть простейшая частная модель). Фреймы представляют собой системные конструкции, предписывающие оптимальный ход мысли в процессе выполнения специального исследования. Система – это алгоритм размышлений о любом объекте природы (и общества). Фрейм – это алгоритм

анализа объектов частных наук, это система, подогнанная под формат конкретного объекта исследования (в рамках заявленных целей). По мере накопления фактов в процессе выполнения нового исследования первичный образ фрейма будет перестраиваться, приобретая черты нового конкретного объекта (при этом нельзя забывать, что любой фрейм реализует лишь часть системных наработок и для создания новых фреймов и моделей необходимо привлекать весь арсенал средств системного подхода). Степень общности и степень детальности разных фреймов различна и определяется объемом, числом объектов, подпадающих под эту логическую схему, и точностью численных оценок их свойств. Одним из важных фреймов, относящихся к большому кругу динамических объектов, является понятие обратной связи; фрейм двухконтурной отрицательной обратной связи [42] охватывает меньший круг объектов. К предельно детальным фреймам относится любая блок-схема. Построение фрейма должно неизбежно вести к его «оцифровке» – созданию количественной модели.

СИСТЕМА И ЗАКОНОМЕРНОСТЬ

Иногда фреймы (схемы обобщений) рассматриваются как переходные формы существования знания между эмпирическими моделями и законами. «Молодые ... биологические науки ... можно назвать «мягкими» в том смысле, что они не столь точны, как более старые и более устойчивые «жесткие» науки, например химия и физика. По мере своего развития каждая наука становится все более абстрактной, а ее гипотезы ... совершенствуются до тех пор, пока не достигнут статуса «законов», подобных известным нам законам химии и физики» [43]. Эта точка зрения нам кажется неточной. В биологии (в том числе и в связи с большой сложностью биологических объектов) доминируют направления исследования, структурирующие наши представления о живой природе, но не подходы, позволяющие получать формулы ее законов. Общеэкологические (тем более аналитически выраженные) законы практически неизвестны. «Начав с очень общих вопросов и попыток установить сразу универсальные правила и соотношения, претендующие на статус «законов» (похожие на те, что были известны для физики), экологи пришли к необходимости ставить частные разрешимые задачи» [44].

На наш взгляд, онтологическая системная доктрина отвлекает внимание биологов и философов от разработки понятия «биологический закон», заслоняя важнейшую цель биологии – познание этих законов. Внимание направлено на выяснение «системной сущности биосистем». Например, первое из современных направлений экологии в одной из последних солидных монографий звучит как «создание онтологии биоразнообразия животного и растительного мира и ди-

намики экосистем» [45]. При этом онтология понимается как всего лишь «каталогизация», отмечается, что «особенно сложна часть, касающаяся пространственно-временной организации биоразнообразия» [46]. Скорее всего, эта «сложность» соответствует не природе объекта (любой компонент природы бесконечно разнообразен), а бесструктурному методу познания и коренится в методологической незрелости экологии, неумении «открыть закономерности в кажущемся хаосе» [47]. Конечно, изучать «системность» биоэкологических объектов (кадастр, состав, разнообразие...) существенно проще, нежели выявлять законы природы (причинная обусловленность, обратная связь...). О сходной ситуации в морфологии было сказано: «...Обычный атомистический анализ расчленяет организм на части: «системы» органов, органы, ткани, клетки. Механисту целое представляется суммой частей, и жизненные отправления организма составляются из функций отдельных органов и тканей. ... Для нас приобретают основное значение взаимозависимости частей, определяющие согласованное их развитие. ...Мы должны анализировать интегрирующие факторы развития» [48]. Мы рассматриваем эту установку как призыв к поиску биологических законов. Однако углубление «системного видения» природы не ведет непосредственно к установлению биологических законов, поскольку системные построения отражают не структуру реальных объектов, а служат схемой их интеллектуального восприятия. «По мнению ряда ученых ... вряд ли можно ожидать, чтобы системы ... разного характера обладали нетривиальными общими свойствами. Метафора и аналогия могут быть очень полезными, но могут и вводить от истины» [49]. Системы не выражают законов, управляющих существованием природы, но лишь констатируют взаимосвязь известных фактов. Системно, по аналогии, можно только вести поиск законов существования объектов, но сами законы вполне специфичны у разных объектов природы.

Реализуется системный метод через построение фреймов, в той или иной степени соответствующих специфике объекта исследования. При этом нет никаких ограничений на структурные композиции этих фреймов, поскольку прежние интеллектуальные построения априори не соответствуют «структуре» природы. Более того, системный подход постулирует: познание не укрепляет ранее созданные эмпирические системы (фреймы) – оно их разрушает! Идеальным результатом познания следует считать освобождение от системных описаний и представление знаний о природе только в форме законов. Естественно, при этом не обойтись без структурного представления объектов исследования хотя бы для обозначения тех компонентов природы, проявление которых описывает закон. «Все, что мы ... знаем о физическом мире, целиком зависит от допущения, что причинные зако-

ны существуют» [50]. Здесь возникает вопрос, если системы – условные понятия, то могут ли быть объективными законы, выраженные на языке взаимоотношений между «системами» (или их элементами)? Очевидно, нет. Законы природы, во-первых, разнообразны: форма шара одинаково эффективно создается силами гравитации (планеты) и поверхностного натяжения (мыльный пузырь). Во-вторых, законы природы иные, чем научные законы, описывающие поведение природных объектов: никто всерьез не будет считать законы организации антропидного робота (имитационную математико-физическую модель) эквивалентными законам организации человека только потому, что у них есть сгибающиеся конечности. Даже строгие количественные соотношения между искусственно (целесообразно) выделенными объектами природы будут искусственными.

Переход от системы к закону осуществляется через фрейм и модель (см. рис. 1). Модель отражает способ существования реальных объектов (его можно успешно выразить с помощью имитационных моделей, портретных количественных описаний). Тогда *закономерность* определяется как частное отношение между компонентами фрейма. Модель выражает эмпирические зависимости между конкретными явлениями природы. Задача эмпирического исследования состоит в формировании знаний о *способе существования* конкретного природного объекта, представленного в виде фрейма.

В качестве примера предложенного подхода приведем наши исследования факторов динамики численности популяций [51]. Роль фрейма сыграла теория неравновесных систем, в частности, опыты описания динамики численности нескольких видов с помощью функций последования [52]. На основе этого фрейма нами были построены имитационные модели популяционной саморегуляции, которые на 84 % объясняли межгодовые изменения численности рыжей полевки в южной Карелии. В качестве основного результата выступил ключевой параметр $N_K \approx 30$ экз./га – значение плотности животных в оптимальных местообитаниях, по достижению которой популяция начинает утрачивать способность к воспроизводству в следующем году (и чем больше превышение данного порога, тем глубже будет депрессия). Полученное значение есть экологическая оценка физиологической чувствительности особей к чрезмерно частым контактам с соседями, что нарушает их нормальное самочувствие, выживаемость и способность к размножению. Этот параметр выражает видовую норму, он представляет собой эмпирический закон автономной регуляции численности.

Через закономерность проявляет себя закон природы – устойчивые отношения между объектами природы. Путь к теории, к формулированию закона проходит, видимо, через обобщение закономерностей. «Необходимо открывать такие

общие принципы, из которых... эмпирические зависимости могут быть выведены как частные следствия» [53]. Поскольку «общее понятие распространяется скорее на все *возможные*, чем на все *актуально существующие* характеристики» [54], то задача *теоретического* исследования состоит в определении (выявлении и формулировании) законов, обуславливающих *возможность существования* природных объектов.

К сожалению, путь построения теоретической экологии на основе эмпирических законов не очевиден, поскольку само понятие «биологический закон» не определено. Оценивая «системные» перспективы движения в этом направлении, можно ориентироваться на АРИЗ. Ключевой идеей алгоритма служит поиск физического противоречия старой инженерной конструкции (невозможность выполнять некоторые желательные функции) и *преодоление этого физического недостатка* с помощью ограниченного набора типичных изобретательских приемов, путем создания «надсистемы», новой конструкции. По аналогии, биологические «системы» можно рассматривать как «изобретения», ликвидирующие физические барьеры (широко известны биофизические *кинетические барьеры*, преодоленные жизнью посредством матричного синтеза и компартиментации) [55]. Исходя из этого критерия, биологический закон внешне должен выглядеть как «нарушение» простых физико-химических (и математических) законов. Например, арифметический закон геометрической прогрессии («амебы умножаются делением») никогда не реализуется в популяции диких позвоночных вследствие внутривидовых механизмов закономерно (повторяемо) ограничивающих

(сдерживающих) рост численности задолго до истощения пищевых ресурсов. Возможно, биолого-экологический закон, относящийся к широкому классу явлений, должен конструироваться из наборов частных фреймов (моделей), выражающих эмпирические закономерности существования природных объектов.

ВЫВОДЫ

1. Принцип системности постулирует, что любые объекты (явления) природы могут рассматриваться как системы и быть описаны с помощью системных принципов; природа состоит из дискретных объектов, но не системы.

2. Слово «система» практически используется как синоним слова «объект». Эта подмена искажает смысл логической категории «система». Рекомендуется избегать этого термина вне рамок специального системного исследования.

3. Научные эколого-биологические исследования должны быть направлены на изучение законов, управляющих существованием объектов природы, следует отказаться от «выявления структуры природных систем» как основной задачи эколого-биологических исследований.

4. Системный подход – это методология научного познания, система – логическая категория, форма мысли о любом объекте природы. Системная мысль о специфическом объекте природы принимает форму фрейма, специальной системы. Модель есть числовой аналог объекта исследования, «оцифрованный» фрейм.

5. Моделирование – процесс поиска строгих способов выражения природных закономерностей, эмпирических законов, путь к формулированию причинных законов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Славин М. Б. Методы системного анализа в медицинских исследованиях. М.: Медицина, 1989. С. 57.
2. Коросов А. В. Имитация экологических объектов в среде пакета Microsoft Excel // Экология, 2002. 2. С. 144–147.
3. Селье Г. На уровне целого организма. М.: Наука, 1972. С. 12, 15.
4. Ильенков Э. В. Диалектическая логика. М.: Политиздат, 1984. С. 114.
5. Саймон Г. Науки об искусственном. М.: Едиториал УРСС, 2004. С. 9.
6. Перегудов Ф. И., Тарасенко Ф. П. Введение в системный анализ. М.: Высшая школа, 1989. 367 с.
7. Ракитов А. И. Философские проблемы науки. М.: Мысль, 1977. С. 63.
8. Альтшуллер Г. С. Найти идею: Введение в теорию решения изобретательских задач. Новосибирск: Наука, 1991. 224 с.
9. Лаврененко В. М., Ратников В. П., Голубь В. Ф. и др. Концепции современного естествознания. М.: Культура и спорт. ЮНИТИ, 1997. 271 с.
10. Кноринг Л. Д., Деч В. Н. Геологу о математике. Л.: Недра, 1989. С. 17–18; Флейшман Б. С. Основы системологии. М.: Радио и связь, 1982. С. 5.
11. Коросов А. В. Развитие системного подхода к изучению островных популяций животных (на примере обыкновенной гадюки, *Vipera berus* L.) // Дисс. ... доктора биологических наук. Петрозаводск, 2000. 333 с.; Коросов А. В. Имитация экологических объектов в среде пакета Microsoft Excel // Экология, 2002. 2. С. 144–147.
12. Берталанфи Л. фон. История и статус общей теории систем // Системные исследования. 1973. С. 26.
13. Блауберг И. В., Юдин Б. Г. Становление и сущность системного подхода. М.: Наука, 1973. С. 30.
14. Микешина Л. А. Философия науки. Современная эпистемология. Научное знание в динамике культуры. Методология научного исследования. М.: Прогресс-Традиция: МПСИ: Флинта, 2005. С. 382.
15. Славин М. Б. Методы системного анализа... С. 126.
16. Бондаренко Н. И. Методология системного подхода к решению проблем. История–теория–практика. СПб, 1997. С. 85.
17. Лаврененко В. М., Ратников В. П., Голубь В. Ф. и др. Концепции современного естествознания. С. 74.
18. Бэкон Ф. Сочинения в двух томах. Т.1. О достоинстве и приумножении наук. М.: Мысль, 1977. С. 307.

19. Минто В. Дедуктивная и индуктивная логика. СПб.: Комета, 1995. С. 138. 20.
20. Ильенков Э. В. Диалектическая логика... С. 113.
21. Минто В. Дедуктивная и индуктивная логика. СПб.: Комета, 1995. 464 с.
22. Энгельс Ф. Диалектика природы. М.: Политиздат, 1987. С. 179.
23. Рассел Б. Человеческое познание. Его сфера и границы. К.: Ника-Центр., 2001. 560 с.; Флейшман Б. С. Основы системологии. М.: Радио и связь, 1982. 368 с.; Розенберг Г. С. Модели в фитоценологии. М.: Наука, 1984. 265 с. и мн. др.
24. Анохин П. К. Системные механизмы высшей нервной деятельности. М.: Наука, 1979. С. 38.
25. Преображенский В. С. Поиск в географии. М.: Просвещение, 1986. С. 101.
26. Трофимов А. М., Рубцов В. А. Районирование. Математика. ЭВМ. Казань, 1992. С. 95.
27. Энгельс Ф. Диалектика природы. С. 199.
28. Рузавин Г. И. Методология научного познания. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2005. С. 203.
29. Блауберг И. В., Юдин Б. Г. Становление и сущность системного подхода. М.: Наука, 1973. 270 с.
30. Коросов А. В. Имитация экологических объектов в среде пакета Microsoft Excel // Экология, 2002. 2. С. 144–147; Коросов А. В. Специальные методы биометрии. Петрозаводск, 2007. 364 с.
31. Шмальгаузен И. И. Кибернетические вопросы биологии. Новосибирск: Наука, 1968. С. 218.
32. Гегель Г. В. Ф. Энциклопедия философских наук. Логика науки. Т. 1. М.: Мысль, 1974. С. 16.
33. Лосев А. Ф. Философия имени // Лосев А. Ф. Бытие–имя–космос. М.: Мысль, 1993. С. 621.
34. Перегудов Ф. И., Тарасенко Ф. П. Введение в системный анализ. С. 79.
35. Гиляров А. М. Популяционная экология. М.: Изд-во МГУ, 1986. С. 5.
36. Флейшман Б. С. Основы системологии. С. 55.
37. Славин М. Б. Методы системного анализа... С. 123.
38. Перегудов Ф. И., Тарасенко Ф. П. Введение в системный анализ. С. 278.
39. Вернадский В. И. Философские мысли натуралиста. Научная мысль как планетарное явление. М.: Наука, 1988. С. 112.
40. Славин М. Б. Методы системного анализа... С. 32.
41. Яблоков А. В. Популяционная биология. М.: Высшая школа, 1987. С. 9.
42. Коросов А. В. Специальные методы биометрии. Петрозаводск, 2007. 364 с.
43. Пианка Э. Эволюционная экология. М.: Мир, 1981. С. 12.
44. Гиляров А. М. Экология в поисках универсальной парадигмы // Природа, 1998. № 3. С. 81.
45. Биоразнообразие и динамика экосистем: информационные технологии и моделирование. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. С. 17.
46. Биоразнообразие и динамика экосистем... С. 21.
47. Саймон Г. Науки об искусственном. С. 9.
48. Шмальгаузен И. И. Организм как целое в индивидуальном и историческом развитии // Избранные труды. М.: Наука, 1982. С. 13, 15–16.
49. Саймон Г. Науки об искусственном. С. 103.
50. Рассел Б. Человеческое познание... С. 333.
51. Коросов А. В., Зорина А. А. Исследование динамики численности рыжей полевки с помощью функций последования // Экология, 2007. № 1. С. 49–54.
52. Саранча Д. А. Количественные методы экологии. Биофизические аспекты и математическое моделирование. М.: МФТИ. 1996. 252 с.
53. Славин М. Б. Методы системного анализа... С. 57.
54. Вейль Г. Математическое мышление. М.: Наука, 1989. С. 8.
55. Руденко А. П. Эволюционная химия и естественно-исторический подход к проблеме происхождения жизни // Журн. ВХО им. Д. И. Менделеева. 1980. Т. 25. № 4. С. 390–398.

ВАЛЕНТИНА ПАВЛОВНА МОИСЕЕВА

кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии и экологии эколого-биологического факультета ПетрГУ
eko200@petrsu.ru

ЕЛЕНА АНАТОЛЬЕВНА МОИСЕЕВА

кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии и экологии эколого-биологического факультета ПетрГУ
emoiseeva@mail.ru

НАТАЛЬЯ МИХАЙЛОВНА КАЛИНКИНА

доктор биологических наук, заведующая лабораторией гидробиологии ИВПС КарНЦ РАН
kalina@nwpi.krc.karelia.ru

УСТОЙЧИВОСТЬ РЫБ И ВОДНЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ К ДЕЙСТВИЮ СТОЧНЫХ ВОД СУЛЬФАТ-ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО ПРОИЗВОДСТВА В СВЯЗИ С ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ ОСОБЕННОСТЯМИ

Рассмотрена реакция различных видов водных организмов на действие сточных вод сульфат-целлюлозных производств. Показано, что сточные воды Сегежского целлюлозно-бумажного комбината вызывали гибель гидробионтов вплоть до разведения в 500–750 раз. Наибольшую устойчивость к токсическому воздействию проявили представители бентоса. Личинки семги, ряпушки, радужной форели и щуки, а также дафнии оказались более чувствительными. Различие в реакции видов связано с их экологическими свойствами, в частности с их отношением к дефициту кислорода в воде. Виды водных животных, чувствительные к дефициту кислорода, менее устойчивы к действию токсических веществ антропогенного происхождения, чем виды, способные к переходу на анаэробный обмен.

Ключевые слова: водные организмы, сточные воды, целлюлозно-бумажная промышленность, толерантность, экологические свойства

К числу крупнейших источников загрязнения водных бассейнов относится целлюлозно-бумажная промышленность. В настоящее время в мире наиболее распространен сульфатный способ получения целлюлозы. В этой связи весьма актуальными становятся работы по изучению влияния сточных вод сульфат-целлюлозных производств на гидробионтов. К настоящему времени накоплены данные о реакции водных организмов различного систематического положения на влияние отходов сульфат-целлюлозного производства. Возникла необходимость обобщения полученных результатов. Одним из подходов может служить рассмотрение реакции гидробионтов на действие сточных вод в связи с отношением видов к дефициту кислорода, постоянно возникающему в водных экосистемах. В. И. Вернадским было высказано предположение о том, что борьба за существова-

ние в гидросфере является в первую очередь борьбой за кислород [1]. В результате в эволюции гидробионтов биохимические адаптации к дефициту кислорода в окружающей среде развились особенно сильно у организмов – обитателей иловых отложений, в значительно меньшей степени – у пелагических видов, живущих в хорошо аэрируемой среде. Устойчивость водных организмов к токсикантам оказалась тесно связанной с их оксифильностью [2]. Именно этот подход и был применен нами для выявления причин различной устойчивости водных организмов к действию отходов ЦБП.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проследить связь между устойчивостью гидробионтов к действию сточных вод ЦБП и их эко-

логическими особенностями, а именно их отношением к дефициту кислорода. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- провести биотестирование сточных вод с использованием широкого спектра тест-объектов;
- выявить группы гидробионтов, различающихся по устойчивости к действию сточных вод ЦБК;
- провести анализ рядов устойчивости видов в связи с их экологическими особенностями.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве основных методик при биотестировании сточных вод Сегежского ЦБК использовали руководства [3, 4, 5]. Оценка действия сточных вод на зоопланктон давалась по шкале градаций Л. А. Лесникова [6], а определение плодовитости дафний в ряду поколений по методике Н. С. Строганова и Л. В. Колосовой [7]. Эксперименты с рыбами проводились по методике Саратовского отделения ГосНИИОРХа [8]. В работе проанализированы данные регулярного мониторинга сточных вод за период 1979–1988 гг., когда Сегежский комбинат работал по стандартной схеме в стабильном режиме. Кроме того, прослежена ситуация после реконструкции комбината (2003–2004 гг.).

При биотестировании сточных вод Сегежского ЦБК в качестве тест-объектов использовались представители зоопланктона – ветвистые ракообразные *Daphnia magna*, *Daphnia pulex*, бентоса – моллюски *Planorbis* sp., *Sphaerium corneum*, олигохеты *Tubifex tubifex*, хирономиды *Chironomus dorsalis* и ихтиофауны – радужная форель *Parasalmo mykiss*, ряпушка *Coregonus albula*, семга *Salmo salar* и щука *Esox lucius* на разных стадиях развития (икра и личинки). Дафнии, олигохеты и хирономиды культивировались в лабораторных условиях, моллюски отлавливались в мелких водоемах окрестностей г. Сегежи, икра и личинки рыб доставлялись с рыбозаводов, расположенных на территории Карелии.

Всего за период исследований (1979–1988 гг.) было выполнено более 200 серий опытов на разных видах водных организмов. Для сравнения анализируемых материалов в 2003–2004 гг. отбирались образцы неочищенных сточных вод СЦБК. Исследовались образцы неочищенных сточных вод, которые поступали на станцию биологической очистки тремя потоками: на блок очистки концентрированных стоков (КС) подавались сточные воды дрожжевого производства комбината и сточные воды ДОКа. Отдельным потоком шел основной проток ЦБК. В связи с этим биотестирование неочищенных сточных вод проводилось дифференцированно – отдельно брались проток комбината (обозначенный как блок ЦБК), сток дрожжевого производства гидролизного цеха

(обозначенный как блок КС) и сток деревообрабатывающего комбината (ДОКа).

Полученные данные были обработаны общепринятыми методами вариационной статистики [9]. Достоверность отклонения количественных показателей относительно контроля оценивали по критерию Стьюдента (с 95 % уровнем вероятности). Достоверность отклонения от контроля служила критерием токсичности исследуемых растворов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Из трех различных по составу неочищенных сточных вод, поступающих на станцию биологической очистки, максимальной токсичностью обладал поток деревообрабатывающего комбината (ДОКа). В исследовании сточной воды ДОКа наибольшую резистентность показали бентосные организмы (моллюски, хирономиды и олигохеты). Полная или 60–80 %-ая гибель бентосных форм наблюдалась лишь до разведения 1:5. Остальные разбавления (1:10 и более разбавленные) не оказывали отрицательного влияния на метаморфоз хирономид, выживаемость, поведенческие реакции катушек и олигохет. Наибольшую чувствительность к сточной воде ДОКа проявили рыбы на ранних стадиях онтогенеза. Во все годы проведения исследований показатели безвредных разведений сточной воды ДОКа для личинок семги находились в интервале разведений 1:500 – 1:750. Токсический эффект проявлялся вплоть до разбавлений 1:250 и 1:350: на фоне полной выживаемости наблюдалось угнетение активности личинок, потемнение кожных покровов, вес и длина их при окончании эксперимента достоверно ($p < 0.05$) отличались от контроля. Не менее токсичен данный сток и для других видов рыб. Так, разведения тестируемой воды 1:50 – 1:175 для ряпушки на ранних этапах развития оказались летальными, вызывая гибель эмбрионов или личинок. В растворах с разведением 1:250 – 1:350 хотя и произошел массовый выклев, но у личинок была отмечена водянка желточных мешков, снижение двигательной активности, судороги тела. И лишь разбавления сточной воды 1:500 – 1:750 не оказали отрицательного влияния на эмбриональное и раннее постэмбриональное развитие ряпушки. Наибольшую резистентность к тестируемому стоку из изученных видов рыб проявила радужная форель. Сток в разведении 1:350 не оказал отрицательного воздействия ни на эмбрионов, ни на выклюнувшихся личинок радужной форели. Значения недействующих разбавлений сточной воды ДОКа для икры и личинок щуки за период исследований варьировали в пределах от 1:250 до 1:600. Не менее токсичен поток ДОКа и для планктонных организмов, в частности, для *Daphnia magna*. Недействующие разбавления сточной воды для рачков изменялись в пределах от 1:200 до 1:500.

Наиболее резистентными к неочищенной воде дрожжевого производства также оказались бентосные организмы (недействующие разбавления – 1:10 – 1:25). Наибольшую чувствительность к этому стоку проявила *Daphnia magna*. Этот вид сточных вод в разбавлении 1:50 – 1:100 летален для дафний. В более концентрированном растворе рачки прекратили свое существование в I поколении, в 1:100 – в третьем. В разведениях от 1:200 до 1:400 отмечалось увеличение роста и плодовитости, вымет мертвой молоди, что указывало на угнетение состояния дафний. Высокую чувствительность к исследуемой сточной воде проявили и рыбы. Разведения сточной воды 1:50 и 1:100 были остроотоксичными для эмбрионов и личинок всех видов исследованных рыб. В растворах с разбавлением 1:175 большинство выклюнувшихся личинок ряпушки и радужной форели оказались нежизнеспособными, у выживших особей отмечалась слабая пигментация и задержка резорбции желточных мешков. В данном разведении выживаемость мальков семги была высокой, однако линейные размеры рыб достоверно снижались относительно контроля. Выживаемость, поведенческие реакции и морфометрические показатели личинок щуки в этом растворе достоверно не отличались от контроля. Наибольшую чувствительность к неочищенному стоку от дрожжевого производства проявили личинки радужной форели: в растворе с разведением 1:250 у них наблюдалась задержка роста и резорбции желточных мешков, морфометрические показатели при снятии опытов достоверно отличались от контроля. Для личинок ряпушки и семги данная среда была безвредной. В порядке снижения чувствительности всех исследованных рыб можно расположить следующим образом: радужная форель (недействующее разведение – 1:350) – ряпушка, семга (1:250) – щука (1:175).

Из всех проанализированных неочищенных сточных вод наименьшей степенью токсичности обладал основной поток комбината. Исследуемая сточная вода при разбавлении уже 1:10 не влияла на жизнедеятельность катушек, на метаморфоз комаров, но вызывала ускорение роста олигохет, что вновь указывает на высокую устойчивость бентосных форм. Наибольшую чувствительность к нему проявили личинки рыб. Если развитие икры (щука, ряпушка, радужная форель) протекало без видимых отклонений при разведении 1:50 – 1:100, то для выклюнувшихся в опытных растворах личинок эта среда при дальнейшей экспозиции оказалась летальной. Нормальное развитие и рост личинок были возможны только в среде 1:175 (щука, радужная форель), 1:250 (ряпушка). В отдельные годы (1985, 1988) токсичность этой сточной воды для ряпушки была несколько выше – недействующее разбавление находилось в пределах 1:350 – 1:400. Для личинок семги, полученных из икры,

проинкубированной в чистой воде, разбавление сточной воды 1:100 также было токсично. В течение эксперимента в этом растворе погибло 40–50 % подопытных рыб. Среда повлияла и на рост выживших до конца опыта особей: по весу и длине они были достоверно меньше контрольных. На планктонных ракообразных (*D. magna*) данная сточная вода оказывала токсическое влияние вплоть до разбавления 1:50 по показателям состояния воспроизводительной функции. Недействующим пределом для дафний были разведения от 1:100 до 1:200.

Таким образом, неочищенные производственные воды, поступающие на станцию биологической очистки, обладают высокой токсичностью для гидробионтов. По уменьшению токсичности их можно расположить в следующем порядке: сточные воды ДОКа – дрожжевого производства – основной поток комбината. В результате проведенных экспериментов выяснилось, что сточные воды ДОКа и основного потока комбината более опасны для рыб, а воды дрожжевого производства – для кормовых объектов (*D. magna*).

Различные виды водных организмов проявили разную реакцию на действие сточных вод ЦБК. Нами был использован метод главных компонент [10], который позволил провести классификацию водных организмов по их устойчивости к действию сточных вод ЦБП. Была сформирована таблица, содержащая характеристики устойчивости наиболее полно исследованных тест-объектов – хирономид, олигохет, моллюсков *Planorbis sp.*, дафний *Daphnia magna*, личинок ряпушки, радужной форели, семги и щуки. Характеристики устойчивости видов служили летальные концентрации неочищенных сточных вод, под действием которых смертность организмов достоверно повышалась относительно контроля (табл. 1). Концентрации сточных вод были выражены в процентах. Например, разведение 1:2 соответствовало концентрации 33,3 %.

По результатам компонентного анализа данных были выявлены две компоненты (PC–1 и PC–2), которые отразили основную долю изменчивости признаков – 97 % (табл. 2).

В первую главную компоненту с достоверными положительными факторными нагрузками (более 0,7) вошли все образцы сточных вод за исключением № 17 (деревообрабатывающий комбинат, данные за 1986 г.). Таким образом, первая компонента, отражающая 86 % изменчивости, показывает тесную корреляцию между летальными концентрациями различных образцов неочищенных сточных вод для исследуемых тест-объектов (величины коэффициентов корреляции составили от 0,65 до 0,98). Это означает, что за разные годы водные организмы всегда можно было ранжировать в одну и ту же последовательность по их устойчивости к действию сточных вод. Действительно, если обратиться к табл.1, можно заметить, что для олигохет,

Таблица 1

Летальные концентрации неочищенных сточных вод (%)

Тест-объект	Образцы сточных вод											
	3	7	8	9	10	11	12	13	14	15	17	18
Олигохеты	33,3	16,7	9,1	16,7	16,7	9,1	9,1	16,7	9,1	16,7	33,3	33,3
Хирономиды	33,3	16,7	9,1	16,7	16,7	9,1	9,1	16,7	9,1	16,7	9,1	33,3
Моллюски <i>Planorbis sp.</i>	16,7	33,3	16,7	16,7	33,3	9,1	16,7	9,1	9,1	16,7	3,9	16,7
Дафнии	3,9	3,9	1,0	2,0	2,0	1,0	0,5	2,0	0,3	2,0	2,0	0,2
Личинки семги	1,0	2,0	2,0	0,5	1,0	1,0	0,3	1,0	0,6	0,4	0,6	0,2
Личинки форели	2,0	1,0	0,4	1,0	2,0	0,6	1,0	2,0	0,3	0,2	0,6	0,3
Личинки ряпушки	1,0	1,0	0,6	0,4	0,6	1,0	0,3	0,4	0,6	0,2	1,0	0,3
Личинки щуки	9,1	1,0	0,4	0,6	3,9	1,0	1,0	2,0	1,0	0,4	2,0	0,6

Примечание: 3 – общий поток (1981 г.); 7 – дрожжевое производство (1983); 8 – деревообрабатывающий комбинат (1983); 9 – основной проток (1983); 10 – дрожжевое производство (1984); 11 – деревообрабатывающий комбинат (1984); 12 – основной проток (1984); 13 – дрожжевое производство (1985); 14 – деревообрабатывающий комбинат (1985); 15 – основной проток (1985); 17 – деревообрабатывающий комбинат (1986); 18 – основной проток (1987).

хирономид и моллюсков летальные концентрации сточных вод составляют 9–33 %. Для дафний и личинок рыб летальные концентрации неочищенных сточных вод существенно меньше и варьируют в пределах 0,2–9 %.

Исключение составляет сточная вода № 17, которая отражает некоторое отклонение устойчивости моллюсков от ожидаемой. Так, к действию этого образца сточной воды моллюски оказались менее устойчивы, чем это можно было ожидать (летальная концентрация – 3,9 %), в то время как летальные концентрации всех других образцов для него были гораздо больше (9–33 %). Именно это отклонение и определило тот факт, что во вторую главную компоненту максимальный вклад обусловил единственный образец сточных вод № 17 (см. табл. 2).

Расположение тест-объектов в осях первой и второй главной компоненты представлено на рис. 1.

Таблица 2

Факторные нагрузки признаков в две главные компоненты

Признак	Первая компонента	Вторая компонента
3	0,91	0,60
7	0,91	-0,66
8	0,93	-0,59
9	1,00	0,01
10	0,91	-0,65
11	1,00	0,01
12	0,93	-0,57
13	0,93	0,53
14	1,00	0,02
15	1,00	0,01
17	0,67	1,00
18	0,93	0,54
Вклад в общую дисперсию, %	86	11

Как видно, разные тест-объекты четко разделились на два класса, при этом их разделение произошло относительно первой главной компоненты, отражающей различие в устойчивости видов к действию сточных вод. Крайнее правое положение на графике занимают виды: олигохеты, хирономиды и моллюски. Эти виды представляют первый класс – наиболее устойчивых видов к действию сточных вод ЦБК. Крайнее левое положение занимают дафнии и личинки рыб. Эти виды представляют собой второй класс – наименее устойчивые организмы к действию сточных вод.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Объяснить повышенную устойчивость водных организмов из первой группы (олигохеты, хирономиды, моллюски) к сточным водам можно, исходя из их экологических особенностей. Виды беспозвоночных, вошедшие в эту группу, обитают в условиях периодического недостатка кислорода и, как следствие, обладают значительной пластичностью по отношению к дефициту кислорода внешней среды. Существование

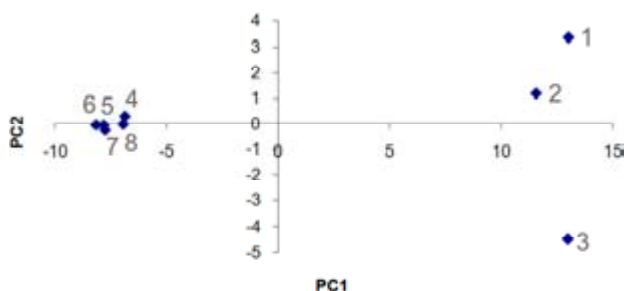


Рис. 1. Расположение тест-объектов в осях первой и второй главной компоненты

Обозначения: 1 – олигохеты; 2 – хирономиды; 3 – моллюски; 4 – дафнии; 5 – личинки семги; 6 – личинки ряпушки; 7 – личинки радужной форели; 8 – личинки щуки.

в течение многих поколений в воде с низким содержанием кислорода привело к развитию у этих животных ряда приспособительных механизмов. Адаптация этих видов к периодически повторяющимся условиям гипоксии привела к сдвигам биохимических процессов в тканях, следствием которых является повышение неспецифической резистентности к различным вредным факторам: не только к недостатку кислорода, эвтрофированию вод, но и к отравлению токсикантами различного происхождения [11, 12]. По-видимому, эти же механизмы послужили основой высокой устойчивости изучаемых нами бентосных форм к действию сточных вод сульфат-целлюлозного производства.

Представители второй группы животных – дафнии и личинки рыб – являются более оксифильными животными по сравнению с исследованными бентосными формами (хиномидами, олигохетами, моллюсками). Дафнии способны выдерживать некоторый дефицит кислорода за счет усиленного синтеза гемоглобина, однако у них недостаточно выражена способность переходить с аэробного на анаэробный тип обмена. Как следствие, у дафний отсутствуют механизмы обезвреживания и выведения ядовитых продуктов промежуточного обмена [13, 11].

По характеру метаболических процессов рыбы занимают определенную ступень филогенетической лестницы между гидробионтами, приспособленными к временному существованию в анаэробных условиях (моллюски, олигохеты, хиномиды), и наземными животными. Уровень гликолитических процессов в их тканях выше, чем у теплокровных животных, и ниже, чем у факультативных анаэробов [14]. В наших исследованиях использовались рыбы – ряпушка, радужная форель, семга, щука, относящиеся к оксифильным видам. Резистентность тканей оксифильных видов рыб к дефициту кислорода весьма мала, что обусловило низкую устойчивость этих видов и к действию токсических

веществ, содержащихся в сточных водах сульфат-целлюлозного производства. Не случайно, по классификации Н. С. Строганова (1971), семга, ряпушка и форель относятся к группе высокочувствительных по отношению к большому числу токсических веществ.

Таким образом, большой эмпирический материал, полученный при биотестировании сточных вод Сегежского ЦБК, подтверждает высказанные ранее гипотезы о том, что более оксифильные виды водных животных менее устойчивы к действию токсических веществ антропогенного происхождения, чем виды, способные к переходу на анаэробный обмен.

ВЫВОДЫ

1. Неочищенные сточные воды сульфат-целлюлозного производства характеризовались различной токсичностью для разных видов водных организмов. Среди потоков сточных вод при раздельном действии на гидробионтов наиболее токсичными оказались сточные воды деревообрабатывающего комбината и дрожжевого производства.
2. Выявлены две группы гидробионтов, различающихся по устойчивости к действию сточных вод сульфат-целлюлозного производства. В первую группу наиболее резистентных видов вошли олигохеты *Tubifex tubifex*, хиномиды *Chironomus dorsalis*, моллюски *Planorbis sp.* Во вторую группу менее резистентных видов вошли дафнии *Daphnia magna*, личинки ряпушки *Coregonus albula* семги *Salmo salar*, радужной форели *Parasalmo mykiss* и щуки *Esox lucius*.
3. Виды гидробионтов, наиболее устойчивые к дефициту кислорода, оказались и более резистентными к действию разнообразных неочищенных сточных вод сульфат-целлюлозного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вернадский В. И. Биосфера. М.: Мысль, 1967. 376 с.
2. Брагинский Л. П., Величко И. М., Щербань Э. П. Пресноводный планктон в токсической среде. Киев: Наукова думка, 1987. 180 с.
3. Веселов Е. А. Биологические тесты при санитарно-биологическом изучении водоемов // Жизнь пресных вод СССР. Л.: Изд-во АН ССР, 1959. Т. 4. Ч. 2. С. 7–37.
4. Лукьяненко В. И. Токсикология рыб. М.: Пищевая промышленность, 1967. 216 с.
5. Методические рекомендации по установлению предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. М, ВНИРО, 1986. 88 с.
6. Лесников Л. А. Методические указания по установлению предельно допустимых концентраций вредных веществ в воде рыбохозяйственных водоемов. Л.: ГосНИИОРХ, 1973. 22 с.
7. Строганов Н. С., Колосова Л. В. Ведение лабораторной культуры и определение плодовитости дафний в ряде поколений // Методики биологических исследований по водной токсикологии. М.: Наука, 1971. С. 210–216.
8. Горева В. А., Лизина Н. Н., Ельшин Ю. В. Методика постановки опытов при изучении влияния токсикантов на рыб в ранний период онтогенеза // Изв. ГосНИИОРХ. 1976. № 109. С. 115–117.
9. Ивантер Э. В., Коросов А. В. Основы биометрии. Петрозаводск, 1992. 168 с.
10. Коросов А. В. Экологические приложения компонентного анализа. Петрозаводск, 1996. 152 с.
11. Биргер Т. И. Метаболизм водных беспозвоночных в токсической среде. Киев: Наукова думка, 1979. 192 с.
12. Барбашева З. И. Некоторые итоги изучения природы резистентности организма и механизмов ее изменения // Косм. биология и медицина. 1969. № 4. С. 6–12.
13. Збарский Б. И., Иванов И., Мардашев С. Р. Биологическая химия. Л.: Медицина, 1965. 520 с.
14. Маляревская А. Я. Обмен веществ у рыб в условиях антропогенного эвтрофирования водоемов. Киев: Наукова думка, 1979. 256 с.

УДК 338.43

ЕЛЕНА АЛЕКСЕЕВНА КОНДРАТЮК

кандидат экономических наук, старший преподаватель
кафедры зоотехнии, товароведения и экспертизы продоволь-
ственных товаров агротехнического факультета ПетрГУ
bolg@psu.karelia.ru

РАЗВИТИЕ МАЛЫХ ФОРМ ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ В АГРАРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ

Данная статья посвящена вопросу развития малых форм хозяйствования в аграрном производстве РК. Инструментом в содействии развитию малых форм является увеличение, удешевление и расширение доступа к кредитным ресурсам. Ведется работа по упрощению технологии, более полному информированию по вопросам кредитования.

Ключевые слова: приоритетный национальный проект «Развитие АПК», личные подсобные хозяйства, крестьянские (фермерские) хозяйства, банковская программа, кредитные ресурсы, финансовый студенческий отряд

С осени 2005 года в стране идет реализация приоритетных национальных проектов. Приоритетный национальный проект «Развитие АПК» имеет целью ускорение положительных тенденций в агропромышленном производстве, обеспечение продовольственной безопасности, повышение конкурентоспособности отечественной сельскохозяйственной продукции, улучшение качества жизни сельских жителей, сохранение и возрождение сельского уклада, национального ландшафта. В рамках реализации данного проекта в республике выделены следующие направления: ускоренное развитие животноводства, обеспечение жильем молодых специалистов на селе, развитие аквакультуры, стимулирование малых форм хозяйствования.

В структуре производства сельскохозяйственной продукции республики значительная часть приходится на личные подсобные хозяйства (рис.1).

Личные подсобные хозяйства (ЛПХ) – это форма сельскохозяйственного производства, осуществляемого личным трудом гражданина или

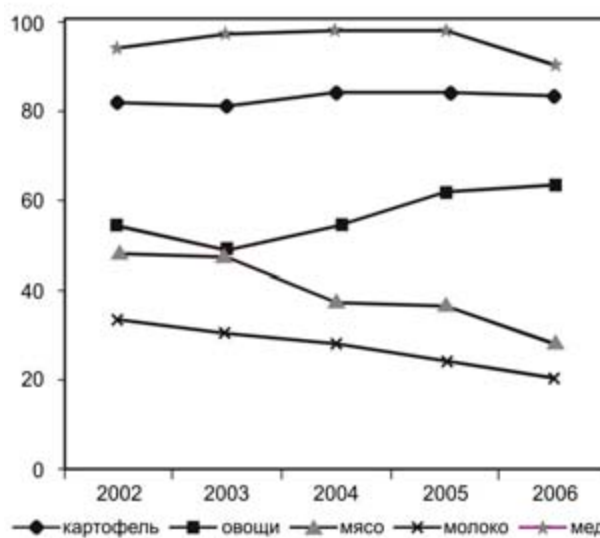


Рис. 1. Удельный вес личных подсобных хозяйств в структуре производства основных продуктов сельского хозяйства Республики Карелия

членов его семьи в целях удовлетворения потребностей в продовольствии и иных нуждах. Доля ЛПХ в структуре производства основных продуктов сельского хозяйства в 2006 году составила: картофель – 83,5 %, овощи – 63,5 %, мясо – 28,2 %, молоко – 20,2 %, мед – 90 %. В структуре продукции сельского хозяйства в фактически действующих ценах на долю личных подсобных хозяйств в 2006 году пришлось более половины – 53,4 %.

Крестьянское (фермерское) хозяйство – форма свободного предпринимательства на основе собственной или арендуемой земли и имущества по производству, переработке и реализации сельскохозяйственной продукции. Доля крестьянских хозяйств в структуре производства незначительна и в 2006 году составила: картофель – 2,3 %, овощи – 3,3 %, мясо – 2,6 %, молоко – 1,5 %, мед – 8,3 %.

Главными инструментами реализации направления «Стимулирование развития малых форм хозяйствования» является программа ОАО «Россельхозбанк», направленная на увеличение и удешевление кредитных ресурсов для личных подсобных хозяйств, крестьянских хозяйств и потребительских кооперативов.

Банковская программа предусматривает выделение краткосрочных и среднесрочных кредитов на приобретение семян, минеральных удобрений, кормов, ветеринарных препаратов, покупку молодняка сельскохозяйственных животных и птицы. Внедрена подпрограмма долгосрочного (до пяти лет) кредитования граждан, ведущих ЛПХ, на строительство или капитальный ремонт помещений для сельскохозяйственных животных, приобретение техники и оборудования. В целях поддержки граждан, ведущих ЛПХ, государством возмещается большая часть процентов, уплачиваемых заемщиком по кредитам, из федерального и регионального бюджетов, что значительно снижает расходы ЛПХ, стимулирует их развитие.

Важным направлением в развитии малых форм сельскохозяйственного производства является обеспечение их выхода на рынок, повы-

шение товарности. В настоящее время значительная часть сельскохозяйственной продукции ЛПХ не попадает в сферу обращения по причине неразвитости рыночной инфраструктуры. Национальным проектом предусмотрено развитие потребительской кооперации, что позволит малым формам сельскохозяйственного производства выйти на качественно новый и перспективный уровень.

В 2006 году Карельским региональным филиалом ОАО «Россельхозбанк» личным подсобным хозяйствам было выдано 189 субсидируемых кредитов на сумму 19,9 млн. руб. и 66 несубсидируемых кредитов на сумму 9,7 млн. руб., в 2007 году – 340 субсидируемых на сумму 40,6 млн. руб. и 216 несубсидируемых на сумму 37,5 млн. руб. В 2007 году сумма выданных крестьянским хозяйствам кредитов увеличилась более чем в три раза и составила 6,5 млн. руб.

Значительно упрощена технология кредитования, минимизирован перечень документов, предоставляемый заемщиком в банк. Но актуальным является вопрос о расширении доступа населения к кредитным ресурсам, активизации информирования об условиях кредитования и оформлении необходимых документов. В связи с этим агротехническим факультетом ПетрГУ совместно с Карельским региональным филиалом ОАО «Россельхозбанк» формируется финансовый студенческий отряд. Задача отряда – представление интересов данного банка на территории сельских поселений республики В качестве уполномоченных представителей «Россельхозбанка» студенты будут оказывать банковские услуги и привлекать заемщиков для использования кредитных ресурсов.

Безусловно, преждевременно говорить о результатах большой работы по реализации приоритетного национального проекта «Развитие АПК», но взятый темп, многогранность инструментов и методов решения поставленных задач настраивают на определенный оптимизм. Государственная агропродовольственная политика направлена на активное включение в процесс укрупнения производства рыночных механизмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сельское хозяйство Республики Карелия: Стат. сб. / Карелиястат. Петрозаводск, 2007. С. 27, 35.
2. Трушин Ю. В. Сегодня задействованы все рычаги повышения эффективности аграрного производства // Развитие АПК. М., 2007. С. 2–5.

УДК 630

ОЛЬГА ИВАНОВНА ГАВРИЛОВА

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесного хозяйства лесоинженерного факультета ПетрГУ
ogavril@petrsu.ru

МАКСИМ НИКОЛАЕВИЧ ТРИШКИН

лесной аналитик по проблемам экологии компании UPM-Kummene
maximtrishkin@mail.ru

АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ СОКОЛОВ

кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией лесовосстановления Института леса КарНЦ
asokolov@knc.ru

АЛЕКСАНДР МАКСИМОВИЧ ЦЫПУК

доктор технических наук, профессор кафедры механизации лесного комплекса лесоинженерного факультета ПетрГУ
tsupouk@petrsu.ru

АННА ЛЕОНИДОВНА ЮРЬЕВА

кандидат биологических наук, преподаватель кафедры лесного хозяйства лесоинженерного факультета ПетрГУ
yureva@petrsu.ru

ОПЫТ РЕКОНСТРУКЦИИ ЛИСТВЕННЫХ МАЛОЦЕННЫХ МОЛОДНЯКОВ БЕЗ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ

В работе рассматриваются вопросы роста лесных культур сосны после реконструкции малоценного лиственного насаждения 10-летнего возраста. Создание культур проводилось посадочным материалом с закрытой корневой системой без обработки почвы. Проведение посадки разными способами позволило рекомендовать к использованию ручную рядовую посадку под лункообразователь Л-2У или под посадочную трубу.

Ключевые слова: реконструкция насаждения, лесовосстановление, сосна обыкновенная, посадка, брикетированные сеянцы

Реконструкцию лесных насаждений проводят для улучшения породного состава и повышения их продуктивности. Под реконструкцией обычно подразумевают замену малоценных лесных насаждений хозяйственно ценными путем создания лесных культур. На вырубках из-под сосняков, ельников зеленомошных и лиственных насаждений последующее возобновление происходит в основном за счет лиственных пород [1]. Дружное возобновление и быстрый рост лиственных (березы и осины) обеспечивают к 8–10 годам формирование сомкнутого полога. Происходит сокращение площадей хвойных за счет увеличения доли лиственных лесов.

Производственный процесс при реконструкции малоценных молодняков состоит из трех основных операций: подготовка площади, обработка почвы и посадка. Все операции можно выполнять раздельно, причем со значительным (2–3 года) промежутком или одновременно. При посадке в необработанную почву необходимость во второй операции отпадает.

Изучению развития корневых систем посадочного материала с закрытыми корнями в лесных культурах всегда уделялось большое внимание в связи со спецификой его выращивания – заключением корней в замкнутом объеме [2]. Высказывались опасения, что выход корней за пределы кома субстрата в окружающую почву может быть затруднен в результате хемотропизма. Однако по мере накопления опыта создания лесных культур было установлено, что если росту корней не препятствует оставленная при посадке оболочка корневая система, то они распространяются в окружающую почву и образуют обширную корневую систему. В то же время были обнаружены отрицательные последствия первичной деформации корневых систем, имеющие место в период выращивания посадочного материала в ячейках контейнеров с непроницаемыми стенками.

Причиной механической неустойчивости посадочного материала с закрытой корневой системой является ее первичная деформация, вызванная стенками ячеек контейнеров, в которых выращивался посадочный материал [3, 4, 5].

Как показали раскопки, у ели европейской в условиях Северо-Запада России через несколько лет после посадки выше первичной образуется новая корневая система из придаточных корней. Она имеет симметричное строение подобно самосеву и обеспечивает механическую устойчивость молодых деревьев. Для ели опасность вывала существует лишь в случае мелкой посадки или размыва почвы, когда часть корней оказывается на поверхности. У сосны обыкновенной способность к образованию боковых корней первого порядка сохраняется у главного корня только в течение первого года его жизни. В следующем году они образуются только на вновь выросшем участке главного корня. Для сосны образование придаточных корней в области корневой шейки не характерно. Основу ее корневой системы составляют корни, образовавшиеся в первый год жизни, поэтому сохраняется опасность, связанная с деформацией корней.

Сопоставление строения корневых систем самосева и сосны в культурах, созданных сеянцами с закрытой корневой системой, показывает очень большие различия между ними. У самосева боковые корни первого порядка, составляющие наряду со стержневым скелетную основу корневой системы, направлены в разные стороны и создают дереву надежную опору. Отмечается, что только около 80 % деревьев самосева сосны имеют стержневой корень, а в случае его отсутствия устойчивость дереву придают хорошо развитые якорные корни. У контейнеризированных сеянцев корни первого порядка изогнуты, направлены вниз и тесно сближены. После высадки растений в культуры эти корни сначала продолжают свой рост в длину и по диаметру, но ниже изгиба рост их замедляется и постепенно прекращается. Тем не менее, по мере роста в толщину изогнутых боковых и главного корней, они постепенно срастаются между собой. Таким образом, наличие «клубка» корней, или образование «культи», — обычное явление в культурах, заложенных контейнеризированными сеянцами сосны, и распространенное у многих древесных пород.

Поэтому у сосны и у ели идет формирование фактически новой, вторичной корневой системы. В том случае, когда боковые горизонтальные корни новой корневой системы подпирают ствол и отходят от него под прямым углом, механическая устойчивость будет определяться развитием стержневого и якорных корней. Если же с какой-либо стороны ствола отходят под острым углом и не являются ему опорой, то падение такого дерева будет происходить в направлении этих корней.

Помимо системы боковых корней, в устойчивости дерева велика роль стержневого корня. Нормальное его развитие зависит как от условий выращивания посадочного материала, так и от режима влажности почвы на лесокультурной площади. Среди нормально растущих в культурах сеянцев и саженцев с закрытой корневой системой доля деревьев с нормально развитым

стержневым корнем в черничных лесорастительных условиях составляет 58–63 %.

Применение «воздушной подрезки» корневых систем (размещение контейнера на специальных подставках, обеспечивающих слой воздуха под ними) приводит к формированию мочковатой корневой системы по причине усиленного роста корней внутри ячейки контейнера. После высадки в культуры развитие нормально ориентированного стержневого корня у сосны в этом случае более вероятно.

Сокращение срока выращивания посадочного материала также снижает уровень деформированности корневой системы. Это связано с природой новообразования корневой системы сосны и ели: боковые корни следующего порядка ветвления образуются в определенной части материнского корня, вблизи от точки роста, т. е. в его «молодой» части. Чем раньше растение высажено в культуры, тем многочисленнее будут боковые корни, отходящие от первичного кома корней, сформировавшегося еще в ячейке контейнера, что создает предпосылки для формирования новой корневой системы, способной обеспечить механическую устойчивость растений.

По данным ряда авторов, в культурах сосны до 15-летнего возраста количество растений с признаками механической неустойчивости колеблется от 13 до 28 %. Из боковых корней второго и следующих порядков у них формируется новая корневая система, зачастую имеющая ассиметричное, «случайное» строение, что является причиной вываливания деревьев. На глубоких песчаных почвах, когда у сосны развивается корень с новыми ярусами боковых горизонтальных корней, использование сеянцев с закрытыми корнями перспективно.

Целью исследований являлось изучение роста культур сосны после реконструкции малоценного листового молодняка сплошным способом без обработки почвы. Для создания культур применялся тепличный брикетированный посадочный материал (с закрытой корневой системой — ПМЗКС) из семян местной заготовки. На естественно восстановившейся площади листовые породы срезались мотокусторезом «Husqarna». Посадка сеянцев осуществлялась под посадочную трубу рядами, а также под лункообразователь Л-2У и под посадочную трубу биогруппами.

Характеристика объекта исследований. Исследования проводились на территории учебно-опытного лесничества Пряжинского лесхоза, расположенного в южной части Карелии. Исходный тип леса — сосняк брусничный, вырубка проведена за 10 лет до создания культур. Почва — подзол иллювиально-железистый песчаный. Рельеф всхолмленный.

Напочвенный покров неоднороден. Состав напочвенного покрова по степени встречаемости: *Calamagrostis silvatica*, *C. epigeios*, *Deshampsia flexuosa*, *Chamaenerion angustifolium*, *Luzula pilosa*, *Angelica silvestris*, *Solidago*

virgaurea, *Gnaphalium silvaticum*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Calluna vulgaris*, в понижениях отмечается избыточное увлажнение и развивается *Sphagnum* sp., на уплотненной почве – *Polytrichum commune*.

Естественное возобновление до реконструкции было представлено в основном лиственными породами. В составе насчитывалось 56 % березы, 20 % ивы, 6 % ольхи, 5 % осины, 3 % рябины. Сосна составляла 4 %, ель – 6 %. Общее количество деревьев 7750 шт./га. Около 40 % березы было порослевого происхождения. Ее средняя высота в 2 раза больше, чем березы семенного происхождения. Она была сильным конкурентом сосны. Состав молодняка до проведения реконструкции был 6Б2И1Е1О+сосна, осина и рябина.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Участок № 1 – площадь 0,4 га, посадка под лункообразователь Л1–2У густотой 3 тыс. шт./га однолетними сеянцами сосны с закрытой корневой системой. Средние таксационные показатели культур приведены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели роста шестилетних лесных культур сосны

Показатель	Высота, см	Диаметр, см	Приросты			Диаметр кроны, см
			2003	2004	2005	
Рядовая посадка под посадочную трубу						
Среднее значение ($\bar{X}$)	128,57	2,71	27,02	25,97	26,16	52,13
Стандартное отклонение ($\bar{\sigma}$)	27,29	0,66	8,01	7,21	8,03	15,09
Ошибка среднего значения (m)	1,268	0,031	0,372	0,335	0,373	0,702
Посадка под лункообразователь Л2–У						
Среднее значение ($\bar{X}$)	121,06	2,62	26,11	25,39	25,68	50,78
Стандартное отклонение ($\bar{\sigma}$)	23,07	0,59	7,28	5,61	5,66	13,84
Ошибка среднего значения (m)	1,085	0,028	0,342	0,264	0,266	0,651
Посадка биогруппами под посадочную трубу						
Среднее значение ($\bar{X}$)	119,75	2,63	25,15	24,01	24,72	51,67
Стандартное отклонение ($\bar{\sigma}$)	23,83	0,65	7,42	5,47	5,25	13,42
Ошибка среднего значения (m)	1,020	0,028	0,318	0,234	0,225	0,574

Общее количество сосны в переводе на 1 га в культурах и естественного возобновления составило 1663 шт./га. Количество березы – 1067 шт./га и ели – 266 шт./га. Формула состава для участка № 1 через 6 лет после реконструкции: 5С4Б1Е.

С участка № 1 было выкопано среднее модельное дерево общей массой 700 г, в том числе масса ассимиляционного аппарата составила 150 г, а масса корней – 90 г, корни были предварительно отмыты. В процентном соотношении: ствол с ветками – 66 %, хвоя – 21 %, корни – 13 % от общей биомассы. При осмотре корневой системы пришли к выводу, что корневая система развивается только в приповерхностных горизонтах, более плодородных и лучше аэрируемых, в первую очередь обогащаемых влагой атмосферных осадков.

Участок № 2 – площадь 0,4 га, посадка под трубу «Поттипутки» рядовым способом тепличными однолетними сеянцами сосны с закрытой корневой системой. На момент исследования, через 6 лет после реконструкции, фактическая густота лесных культур по данному участку составила 1158 деревьев на 1 га (463 дерева на 0,4 га).

Общее количество сосны в переводе на 1 га в культурах и естественном возобновлении составило 1558 шт./га. Количество березы – 933 шт./га и ели – 133 шт./га. Состав насаждения для участка № 2 после реконструкции: 6С4Б+Е.

С участка № 2 было выкопано среднее дерево с корневой системой общей массой 1300 г, в том числе масса ассимиляционного аппарата составила 300 г, а масса корней – 250 г. В процентном соотношении: ствол с ветками – 58 %, хвоя – 23 %, корни – 19 % от общей биомассы. Корневые системы культур сосны здесь развиваются только в приповерхностных горизонтах.

Участок № 3 – площадь 0,6 га, посадка производилась под посадочную трубу биогруппами однолетними брикетированными сеянцами сосны. На момент исследования фактическая густота лесных культур по данному участку составила 910 деревьев на 1 га (546 дерева на 0,6 га).

Общее количество сосны в культурах и естественном возобновлении составило 1443 шт./га. Количество березы – 1443 шт./га и ели – 133 шт./га. Состав насаждения для участка № 3 после реконструкции: 5С5Б+Е.

С площади участка № 3 было выкопано среднее дерево с корневой системой общей массой 780 г, из которых масса ассимиляционного аппарата составила 140 г, масса корней 110 г. В процентном соотношении: ствол с ветками – 68 %, хвоя – 18 %, корни – 14 % от общей биомассы.

Высота культур является важным показателем, характеризующим производительность будущего древостоя. Чем выше средняя высота культур, тем больше шансов, что они не будут заглушены лиственными породами. Однако различие между разными вариантами культур оказалось не более 5–6 % при статистически достоверной разнице на 5 %-ом уровне значимости. Различия по диаметру, текущему приросту за последние 3 года и размерам крон между культурами всех вариантов оказались в пределах точности исследований и не являются существенными.

Таблица 2

Показатель существенности различий (t_{-st}) высоты, диаметра и текущего прироста лесных культур сосны разных способов посадки

Вариант	Высота		Диаметр		Текущий прирост	
	Ручная посадка	Посадка биогруппами	Ручная посадка	Посадка биогруппами	Ручная посадка	Посадка биогруппами
Л-2У	4,5	5,41	2,14	0,25	1,43	2,93
Ручная посадка	–	0,88	–	1,95	–	4,02

После выкопки нескольких модельных растений и изучения степени распространенности корней по горизонтальным горизонтам были сделаны выводы о лучшем развитии корневых систем саженцев первого варианта (рис. 1).



Рис. 1. Развитие корневых систем культур сосны разных вариантов (слева направо): 1 – посадка биогруппами, 2 – под лункообразователь Л-2У, 3 – под посадочную трубу (фото М. Н. Тришкина)

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Реконструкция с последующим созданием лесных культур сосны и полным удалением лиственных пород является достаточно дорогим и трудоемким мероприятием, но, как показывают результаты, эффективным. Так, до проведения реконструкции участие ели и сосны было соответственно 6 % и 4 %, а после проведенных мероприятий 50–60 % на разных участках в составе пород.

При создании лесных культур на злаковом типе вырубке (вейниково-луговиковая) без предварительной обработки почвы рекомендуется применять крупномерный посадочный материал, так как в данном типе вырубок наблюдается жесткая конкуренция со злаковой растительностью на начальных этапах развития.

При выборе способа посадки предпочтение следует отдавать посадке под посадочную трубу, так как при посадке саженец учитывает характер микрорельефа. Однако, учитывая, что различия по большинству показателей между вариантами 1 и 2 оказались несущественными при 5 %-ом уровне значимости, можно рекомендовать посадку и под лункообразователь Л-2У, учитывая существенное уменьшение трудозатрат при механизированном способе подготовки лунок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Синькевич М. С., Шубин В. И. Искусственное восстановление леса на вырубках Европейского Севера. Петрозаводск, 1969. 180 с.
2. Извекова И. М. Основы развития корневой системы в культурах, созданных сеянцами с закрытой корневой системой. СПб.: НИИЛХ, 1992. 203 с.
3. Жигунов А. В. Теория и практика выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой. СПб.: СПбНИИЛХ, 2000. 293 с.
4. Соколов А. И. Лесовосстановление на вырубках Северо-Запада. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. 215 с.
5. Хлюстов В. К., Гаврилова О. И., Морозова И. В. Лесные культуры Карелии. Этапы раннего возраста. М.: Изд-во ФГОУ ВПО РГАУ–МСХА им. К. А. Тимирязева, 2007. 223 с.

УДК 630.18

АНАТОЛИЙ ПЕТРОВИЧ ЦАРЕВ

доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры
лесного хозяйства лесотехнического факультета ПетрГУ

Tsarev@psu.karelia.ru

АПРОБАЦИЯ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПОПУЛЯЦИОННОГО РАЗНООБРАЗИЯ В ЕСТЕСТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЯХ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Исследованы методы К. Шеннона и Л. А. Животовского для оценки популяционного разнообразия сосны обыкновенной в черничниковом типе леса средней тайги. Показано, что эти методы можно использовать для оценки качественных и количественных признаков. Однако в последнем случае требуется соблюдение одинаковой градации признаков при их разделении на классы.

Ключевые слова: биоразнообразие, сосна обыкновенная, методы оценки, внутривидовое разнообразие

При генетико-селекционных мероприятиях, проводимых в популяциях, существует опасность снижения уровня генетического разнообразия. Поэтому необходим постоянный или периодический его мониторинг. Для оценки разнообразия необходимы объективные и сравнительно простые методы. Разработка таких методов – сложная и длительная задача, особенно для варьирующих количественных признаков.

Изменчивость количественных признаков является, как правило, непрерывной, что затрудняет дифференциацию совокупностей на классы. В большинстве случаев классификации являются или субъективными, или «по договоренности». Недостатки таких классификаций особенно четко проявились при исследовании внутривидового разнообразия живых организмов. Довольно устойчивыми являются принципы классификации экосистем и надвидовых таксонов, равно как и внутривидовых форм, различающихся по качественным признакам [1, 2, 3]. Однако классификация внутривидовых таксонов по количественным признакам является довольно спорной проблемой.

Для более объективной оценки внутривидового разнообразия, и в частности внутривидового, в генетике предложен ряд методов, в том числе и по количественным признакам [4, 5, 6 и др.]. В некоторых исследованиях эти подходы было предложено использовать для оценки внутривидового разнообразия лесных древесных пород [7, 8, 9]. Первые опыты по апробации этих методов в Карелии были осуществлены ранее [3].

Среди трех направлений сохранения биоразнообразия (внутривидового, межвидового и экосистемного), отмеченных в Международной конвенции по сохранению биологического разнообразия [10], наиболее существенное значение в эволюционном и биологическом плане имеет внутривидовое разнообразие. Оно же является и наиболее сложным для исследования.

Так, если нарушение экосистемы или видового состава обнаруживается сравнительно просто, то потеря какой-либо части внутривидового разнообразия не всегда столь очевидна. Например, если в какой-то части ареала сосны обыкновенной

новенной систематически вырубать лучшие деревья, то можно прийти к такому положению, что сосна как вид будет существовать (и в этом смысле с видовым рангом будет все в порядке), но вид этот будет уже, в сущности, другим, обедненным. И при том за счет лучшей части генофонда. Так исчезают матовые сосны, не пораженные сердцевинной гнилью осины, карельская береза и другие внутривидовые комплексы. На подобные последствия указывали многие исследователи [11, 12 и др.].

Поэтому очень важно, особенно при селекции, сохранить внутривидовое разнообразие. Этой проблемой в последние годы активно занималась шведская школа лесных генетиков под руководством Дага Линдгрена.

Между тем оценка разнообразия представляет для лесных древесных растений значительные трудности. На это неоднократно обращалось внимание в печати. К настоящему времени предлагаются три подхода для оценки генетического разнообразия на индивидуальном и популяционном уровнях:

1. Применение биохимических методов для оценки аллельной вариации [13, 14].
2. Использование количественного анализа изменчивости мерных признаков [1, 5, 15, и др.].
3. Установление эффективного размера популяции, основанного на родстве генов, индивидуумов и групп [16, 17].

Есть иные направления и разные вариации указанных выше подходов [18, 19, 9, 20, 21, 22 и др.].

Принимая во внимание трудоемкость работы, необходимость получения репрезентативных и достоверных данных, а также обеспечения повторяемости результатов, очень трудно однозначно ответить на вопрос, как же оценивать разнообразие лесных древесных пород, особенно внутривидовое, на уровне популяций. Вероятно, на современном этапе целесообразно было бы использовать феногетические подходы, разработанные отечественными исследователями для изучения популяций живых организмов [1, 23, 24].

Изучение варьирования фенотипических признаков в сочетании с их математико-статистической оценкой для изучения разнообразия популяций, в том числе и для лесных древесных пород, предлагалось также рядом отечественных и зарубежных исследователей [7, 8, 9, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 и др.].

Учитывая накопленный опыт, все изучаемые признаки лесных древесных пород целесообразно было бы разделять на следующие группы:

1. *Морфологические*, включая признаки, оцениваемые при лесоустроительных работах:
 - общая высота, диаметр на высоте 1,3 м, высота до первого сучка, протяженность бессучковой части ствола, бонитет, объем среднего дерева, полнота, запас, товарность и др.;
 - в эту же группу относятся ширина, плотность и архитектура кроны; строение, окраска и толщина коры; угол прикрепления сучьев

и их толщина; очищаемость ствола от сучьев; параметры и цвет листьев; окраска цветков и стробилов; характеристика плодов и шишек (форма, размер, масса, окраска, форма апофизов, диссиметрия и др.); характеристика семян (размер, масса, цвет, всхожесть и др.).

2. *Фенологические*: распускание почек, облиственность, окончание роста побегов, осенняя окраска листьев, листопад, продолжительность периода роста, вегетации, цветение (пыление), созревание плодов и семян, раскрытие (рассыпание) шишек, опадение семян и др.
3. *Специфически биологические*: плотность древесины, таннидность, смолистость, содержание салицина и др.
4. *Экологические*: светолюбие и теневыносливость, влаголюбие и засухоустойчивость, теплолюбие и зимостойкость, ветро- и газоустойчивость, отношение к биотическим факторам среды и др.

Для обработки указанных и других интересных исследователя и производство признаков с целью изучения их варьирования, оценки внутри- и межпопуляционного внутривидового разнообразия могут быть использованы некоторые методы математического статистического анализа. Например, индекс Шеннона – H , показатель внутрипопуляционного разнообразия – μ и доля редких морф – h_μ Л. А. Животовского, обобщенное расстояние Махаланобиса – D^2 , индекс Симпсона – D , мера разнообразия генов – GD Дага Линдгрена и др. (табл. 1).

Очевидно, что подобные подходы, разработанные в популяционной генетике, таксономии и биогеоценологии следовало бы попытаться использовать и при исследовании биоразнообразия лесных древесных пород. Но, естественно, первоначально они должны быть апробированы на применимость их в этом направлении.

В настоящей работе представлены результаты исследований по использованию первых из указанных в табл. 1 методов (К. Шеннона и Л. А. Животовского) для оценки внутривидового разнообразия сосны обыкновенной.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ И ОБЩИХ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ

Оценка внутривидового разнообразия проводилась в естественных лесных древостоях *Pinus sylvestris* L. в зоне средней тайги Карелии. Фактические данные собраны в сосняках черничниковых *Pinetum myrtillosum* Петрозаводского лесхоза. Для примера взяты две пробные площади (№ 1 – в б. Заозерском лесничестве и № 2 – в б. Шуйском лесничестве) размером по 0,25 га.

Общее количество деревьев сосны на пробной площади № 1 – 174, а на пробной площади № 2 – 157 экземпляров. Их средний возраст – 85 и 81 год соответственно. Для предварительных оценок рандомизированным способом отобрано

Таблица 1

Методы изучения
внутривидового и внутривидового разнообразия лесных древесных пород

Наименование метода	Формулы и пояснения	Источник
Индекс Шеннона – H	$H = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i,$ где s – число видов, p_i – доля от общего образца i-го вида	32, 33, 5, 7
Показатель внутривидового разнообразия – μ	$\mu = \left(\sum_{i=1}^m \sqrt{p_i} \right)^2,$ где p_i – частота морф, m – количество обнаруженных морф	6
Доля редких морф – h_μ	$h_\mu = 1 - (\mu / m)$	6
Обобщенное расстояние Махаланобиса – D^2	$D^2 = \sum_{i,j=1}^p Q_{ij} (\bar{Z}_{k,i} - \bar{Z}_{l,i})(\bar{Z}_{k,j} - \bar{Z}_{l,j}),$ где Q_{ij} – соответствующий элемент матрицы, обратной к корреляционной матрице; $\bar{Z}_{k,i}$ – средние нормированные значения i-го признака, соответственно для k-й и l-й совокупностей; $\bar{Z}_{k,j}$; $\bar{Z}_{l,j}$ – то же для j-го признака; p – число учтенных признаков	34
Индекс Симпсона – D	$D = 1 - \frac{\sum_{i=1}^s n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)},$ где s – число видов, n_i – число индивидуумов в i-м виде, N – общее число индивидуумов в сообществе	5,7
Мера разнообразия генов – GD	$GD = 1 - \Theta,$ где Θ – групповое коанцестри (мера родства генов)	16,17

36 и 37 модельных деревьев разной величины. На пробных площадях были проведены измерения и наблюдения по комплексу фенотипических признаков (высота деревьев, диаметр на высоте 1,3 м, высота прикрепления первых живого и мертвого сучьев, толщина и цвет коры, высота подъема грубой корки); определен возраст каждого дерева с помощью бурава, класс роста по Крафту, товарность, диаметр, форма и густота кроны, прирост в высоту, толщина ветвей и степень зарастания сучьев, прямизна ствола и его полнодревесность, тип сексуализации, санитарное состояние и др.

Для оценки внутривидового и межвидового разнообразия использованы следующие качественные и количественные признаки (фены):

- толщина ветвей (толстые, средние, тонкие);
- сексуализация (преимущественно мужские стробилы, преимущественно женские, примерно равное соотношение мужских и женских стробил на дереве, деревья без стробил с невыраженной сексуализацией);
- относительная протяженность кроны (% от высоты ствола);
- относительная высота (высота/диаметр в одинаковых единицах) по С. Я. Медведеву [35].

Показатель K . Шеннона, или информационная мера разнообразия анализируемого признака в популяции (H), для биологических объектов [5] определяется по формуле (табл. 1):

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i, \quad (1)$$

где p_i – относительные частоты этого признака; $\ln$ – натуральный логарифм.

Для определения достоверности найденной информационной меры H рассчитывается ее ошибка s_H по следующей формуле:

$$s_H = \sqrt{\frac{D}{n}}, \quad (2)$$

$$\text{где } D = \sum_{i=1}^n p_i (\ln p_i)^2 - H^2. \quad (2a)$$

Различия между двумя популяциями по показателю K . Шеннона определяются по критерию Стьюдента (t):

$$t = \frac{H_1 - H_2}{\sqrt{s_{H1}^2 + s_{H2}^2}}. \quad (3)$$

Показатель Шеннона изменяется обратно пропорционально показателю доминирования, то есть дает представление, насколько та или иная совокупность разнообразна. Чем выше показатель H , тем выше соответственно и разнообразие.

Показатель внутривидового разнообразия, или среднее число фенотипов (μ), по Л. А. Животовскому определяется по формуле (табл. 1):

$$\mu = \left(\sum_{i=1}^m \sqrt{p_i} \right)^2, \quad (4)$$

где p_i – частота морф, m – количество обнаруженных морф.

При этом под термином «морфа» Л. А. Животовским [6] понимается «фенотип, генотип, аллель, *градация количественного признака* (выделено мной. – А. Ц.) и пр.». При равных частотах всех фенотипов $\mu = m$; при неравномерном распределении частот фенотипов $\mu < m$; при мономорфизме $\mu = 1$.

Стандартная ошибка μ :

$$s_\mu = \sqrt{\mu(m - \mu) / N}. \quad (5)$$

Одновременно с показателем μ для популяций Л. А. Животовский предлагает еще один показатель, названный им «доля редких морф» – h_μ :

$$h_\mu = 1 - (\mu / m). \quad (6)$$

При этом он отмечает, что если распределение частот морф равномерное, то $h_\mu = 0$. При неравномерном распределении частот всегда $h_\mu > 0$.

Показатели μ и h_μ как бы дополняют друг друга при характеристике популяций. Показатель h_μ , по мнению его автора, дает новую по сравнению с μ информацию о характере разнообразия фенотипического состава популяции. В то время как μ оценивает степень разнообразия, показатель h_μ дает определенную характеристику структуры этого разнообразия в смысле соотношения между частотами наиболее редких и наиболее частых в этой выборке фенотипов.

Стандартная ошибка доли редких морф:

$$s_h = s_\mu / m, \quad (7)$$

$$\text{или } s_h = \sqrt{h_\mu(1 - h_\mu) / N}. \quad (8)$$

Л. А. Животовский [6] отмечает еще одну особенность применения показателей μ и h_μ . Они, по его оценке, очень чувствительны к наличию в выборках единичных особей с редким признаком. Их оценки в этом случае становятся стабильными лишь при очень больших объемах выборки. В связи с этим он рекомендует при наличии редких фенотипов объединять их в одну группу, чтобы каждая морфа была представлена как минимум у 3–5 особей.

Оценка значимости различий между популяциями по среднему числу морф и доле редких морф может производиться на основе критерия Стьюдента по формуле (3), в которой вместо значений H_1 и H_2 подставляются соответственно значения μ_1 и μ_2 и $h_{\mu 1}$ и $h_{\mu 2}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты расчетов показателей внутривидового разнообразия К. Шеннона (H) и Л. Животовского (μ и h) для разных признаков приведены в таблицах 2–3.

Таблица 2

Внутривидовое разнообразие в сосняках-черничниках Петрозаводского лесхоза (по К. Шеннону)

Признаки	Б.Заозерское лесничество	Б. Шуйское лесничество	Коэффициент достоверности различий
	$H \pm S_H$	$H \pm S_H$	t
Высота	$1,88 \pm 0,30$	$1,82 \pm 0,01$	0,20
Диаметр	$1,80 \pm 0,09$	$1,94 \pm 0,08$	1,17
Относительная высота (H/D)	$1,51 \pm 0,11$	$1,37 \pm 0,10$	0,93
Толщина ветвей	$0,70 \pm 0,13$	$0,55 \pm 0,08$	0,98
Тип сексуализации	$1,27 \pm 0,08$	$0,99 \pm 0,14$	1,75

Таблица 3

Внутривидовое разнообразие и доля редких форм в сосняках-черничниках Петрозаводского лесхоза (по Л. А. Животовскому)

Признаки	Б.Заозерское лесничество	Б. Шуйское лесничество	Коэффициент достоверности различий

Показатели внутривидового разнообразия

	$\mu \pm S_\mu$	$\mu \pm S_\mu$	t
Высота	$7,17 \pm 0,41$	$6,52 \pm 0,29$	0,46
Диаметр	$6,51 \pm 0,29$	$7,41 \pm 0,34$	1,98
Относительная высота (H/D)	$5,11 \pm 0,36$	$4,39 \pm 0,27$	0,35
Толщина ветвей	$2,40 \pm 0,20$	$1,85 \pm 0,09$	2,56
Тип сексуализации	$3,76 \pm 0,16$	$3,24 \pm 0,26$	1,73

Доля редких форм

	$h \pm S_h$	$h \pm S_h$	t
Высота	$0,10 \pm 0,05$	$0,070 \pm 0,04$	0,05
Диаметр	$0,07 \pm 0,042$	$0,074 \pm 0,043$	0,06
Относительная высота (H/D)	$0,15 \pm 0,06$	$0,12 \pm 0,08$	0,71
Толщина ветвей	$0,20 \pm 0,07$	$0,08 \pm 0,04$	1,45
Тип сексуализации	$0,06 \pm 0,04$	$0,19 \pm 0,07$	1,73

При оценке показателей все данные группировались по определенным классам. Так, для высоты все данные наблюдений разбивались по 2-метровым классам. Диаметры группировались в 4-сантиметровые ступени толщины. Относительные высоты (H/D , по С. Я. Медведеву) разбивались на классы величиной в 20 единиц. Признак толщины ветвей, как уже было отмечено выше, разбивался на три класса (толстые, средние, тонкие), а тип сексуализации – на 4 (1 – преимущественно мужские стробилы; 2 – преимущественно женские стробилы; 3 – смешанный; 4 – стробилы отсутствуют).

Из данных таблиц 2–3 видно, что показатели для насаждений сосны, произрастающих в разных пунктах одного и того же типа леса, несмотря на некоторое варьирование, оказались довольно близкими.

Сравнение показателей одних и тех же признаков в разных популяциях по критерию Стьюдента (t) для показателя К. Шеннона во всех случаях, а для показателей Л. А. Животовского (внутрипопуляционного разнообразия и доли редких форм) в большинстве случаев достоверных различий не выявило.

Изучение внутривидового разнообразия является одним из важных направлений изучения биоразнообразия живой природы и одним из самых сложных. Возможно, поэтому во многих работах последнего времени, посвященных изучению, мониторингу и сохранению биоразнообразия, эти вопросы обходятся молчанием или затрагиваются в незначительной степени [36, 37, 38 и др.].

Представленные в настоящем исследовании результаты показывают, что, несмотря на различие признаков и варьирование их абсолютных значений, по используемым критериям получены близкие результаты для различных насаждений близких типов леса.

Это позволяет надеяться на применимость этих критериев для оценки внутривидового разнообразия лесных древесных пород по разным качественным и количественным признакам. Данные результаты целесообразно было бы проверить на более обширном материале в разных условиях произрастания.

Кроме того, при апробации этих методов в различных вариантах оценок было установлено, что на абсолютную величину как критерия К. Шеннона, так и критериев Л. А. Животовского влияет степень дробности градаций признака при разделении его значений на классы.

Так, для признака относительной протяженности кроны сосны обыкновенной на пробной площади при градации в 10 % (10–19, 20–29, ..., 50–59) критерий К. Шеннона $H = 1,28 \pm 0,11$. При градации этого же признака по 5-процентным классам на той же пробной площади критерий К. Шеннона оказался равным $1,90 \pm 0,09$. То есть показатель H увеличился в 1,5 раза. Такого же порядка увеличение получено и при других вариантах сравнения (табл. 4).

Таблица 4

Изменение величины критерия Шеннона (H) в зависимости от дробности градации количественных признаков (сосна обыкновенная)

№	Размеры классов (числитель) и их число (знаменатель) при степени градации признака		$H \pm sH$ при градации признака		Величина превышения при более дробной градации признака (5/4)
	менее дробной	более дробной	менее дробной	более дробной	
1	2	3	4	5	6

Относительная протяженность кроны, %

1	10/5	5/8	$1,28 \pm 0,11$	$1,90 \pm 0,09$	1,48
2	10/5	5/8	$1,11 \pm 0,09$	$1,68 \pm 0,13$	1,51

Относительная высота (H/D) по Я. С. Медведеву

1	20,0/6	10,0/10	$1,51 \pm 0,11$	$2,06 \pm 0,10$	1,36
2	20,0/5	10,0/9	$1,37 \pm 0,10$	$2,01 \pm 0,09$	1,47

Во всех случаях при переходе к более дробным градациям величина критерия К. Шеннона увеличивалась пропорционально увеличению числа классов. Отсюда следует вывод, что для непрерывно варьирующих количественных признаков его применение не всегда корректно и должно обуславливаться рядом ограничений. В частности, указанный критерий возможно использовать для сравнительных целей по определенным признакам и с обязательной одинаковой градацией признака. То же относится и к балльным шкалам (с числом градаций 3, 4, 5 и больше баллов) количественных и качественных признаков, с учетом того, что при таких наблюдениях и классификациях имеет место определенный субъективизм наблюдателя. В приведенных примерах это можно отнести к фено «толщина ветвей».

Таким образом, исчисленные величины критерия К. Шеннона на основании количественных признаков не являются всеобъемлющими и универсальными. Однако они могут давать относительное представление о внутривидовом разнообразии сравниваемых популяций.

Другими словами, этот критерий может быть использован при четко проявляющихся фенотипических различиях (пирамидальность или раскидистость кроны, раннее и позднее распускание листьев, цвет генеративных органов и т. п.), что подтверждается вышеприведенными данными. Если же с его помощью сравниваются количественные признаки, то необходимо соблюдение идентичности подходов к оценке сравниваемых показателей.

Критерии Л. А. Животовского, как и критерий К. Шеннона, также могут использоваться для сравнительных целей в случае одинаковой градации признаков. Для установления этого

факта, как и при оценке критерия К. Шеннона, нами были проранжированы значения количественных признаков протяженности кроны и относительной высоты Я. С. Медведева (H/D) при разных степенях их градации. Результаты приведены в таблице 5.

Таблица 5

Изменение показателей внутрипопуляционного разнообразия (μ) и доли редких форм (h) Л. А. Животовского в зависимости от дробности градации количественных признаков (сосна обыкновенная)

№	Размеры классов (числитель) и их число (знаменатель) при степени градации признака		$\mu \pm s_\mu$ и $h \pm S_h$ при градации признака		Величина превышения при более дробной градации признака (5/4)
	менее дробной	более дробной	менее дробной	более дробной	
1	2	3	4	5	6
Показатель внутрипопуляционного разнообразия (μ)					
<i>Относительная протяженность кроны, %</i>					
1	10/5	5/8	4,12±0,32	7,26±0,39	1,76
2	10/5	5/8	3,75±0,36	6,40±0,53	1,71
<i>Относительная высота (H/D) по Я. С. Медведеву</i>					
1	20,0/6	10,0/10	5,11±0,36	8,76±0,55	1,71
2	20,0/5	10,0/9	4,39±0,27	8,16±0,43	1,86
Показатель доли редких морф (h)					
<i>Относительная протяженность кроны, %</i>					
1	10/5	5/8	0,18±0,06	0,09±0,05	0,50
2	10/5	5/8	0,25±0,07	0,20±0,07	0,80
<i>Относительная высота (H/D) по Я. С. Медведеву</i>					
1	20,0/6	10,0/10	0,15±0,06	0,12±0,05	0,80
2	20,0/5	10,0/9	0,12±0,05	0,10±0,05	0,83

Как видно из данных таблицы 5, и при использовании критерия μ Л. А. Животовского наблюдается его увеличение прямо пропорционально степени дробления градаций признака (в 1,7–1,8 раза). В то же время величина доли редких генотипов (h) на увеличение степени дробления признака реагирует значительно меньше. Это понятно, так как бывшие редкими генотипы при более дробной градации становятся одними из членов растянувшегося вариационного ряда.

Тем не менее все это говорит о том, что при использовании критериев Л. А. Животовского для сравнительных исследований количественных признаков необходимо также соблюдение равных подходов в отношении их градации, как и в случае применения критерия К. Шеннона.

Получаемые оценки разнообразия имеют определенное экологическое значение. Однако они недостаточно информативны для оценки хозяйственной значимости имеющегося разнообразия. С этой целью необходима модификация данных оценок.

Дальнейшие исследования должны идти в направлении разработки комплексных методов учета биоразнообразия. Эти методы должны будут оценивать как собственно биоразнообразие, так и содержать указания, за счет варьирования каких компонентов исследуемой совокупности оно достигается.

ВЫВОДЫ

1. К настоящему времени почти повсеместно осознана необходимость сохранения биоразнообразия живой природы. Но прежде чем принимать какие-либо решения, необходимо оценить состояние биоразнообразия. Для его изучения нужно разработать методы, особенно в части исследования внутривидового разнообразия таких важных для формирования биоты видов, какими являются лесные древесные виды, имеющие огромные ареалы и изменчивость.
2. Обычные описательные методы не всегда позволяют оценить внутренние процессы, происходящие в природе, и не всегда могут позволить производить сравнения. Требуется разработка методов, которые были бы относительно доступными, недорогими, объективными и позволяли бы оценивать как отдельные показатели популяции, так и их совокупность.
3. Исследователями в разных направлениях науки разработаны некоторые подходы в этом плане, однако они недостаточно широко внедряются в практику лесного хозяйства. Данная работа представляет одну из попыток проанализировать возможности использования количественных методов с целью практического изучения внутривидового разнообразия основных лесобразующих древесных пород.

Апробированные в настоящей работе методы не являются исчерпывающими. Требуются комплексные исследования для изучения использования и других подходов применительно к лесным древесным породам. Но для этого необходимы время, средства и соответствующие специалисты в области изучения, мониторинга, сохранения и восстановления (в случае его нарушения) внутривидового разнообразия лесных древесных пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яблоков А. В. Популяционная биология. М.: Высшая школа, 1987. 303 с.
2. Волков А. Д., Громцев А. Н. Проблема исследования и регулирования биоразнообразия в лесах таежной зоны России. Препринт доклада. Петрозаводск: Ин-т леса КарНЦ РАН, 1997. 24 с.

3. Царев А. П. Методы количественной оценки внутривидового разнообразия лесных древесных пород. Петрозаводск: Изд-во Петрозаводского университета, 1998. 52 с.
4. Шмальгаузен И. И. Факторы эволюции. 2-е изд. М.: Наука, 1968. 451 с.
5. Одум Ю. Основы экологии: пер. с английского. М.: Мир, 1975. 742 с., ил.
6. Животовский Л. А. Показатель внутривидового разнообразия // Журнал общей биологии. 1980. Т. XLI. № 6. С. 828–836.
7. Standovar T. Aspects of Diversity in Forest Vegetation // EFI Proceedings. 1996. No 6. P. 17–28.
8. Tomppo E. Biodiversity Monitoring in Finnish Forest Inventories // EFI Proceedings. 1996. No 6. P. 87–94.
9. Егоров М. Н. Введение в фенетику древесных растений. Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. 120 с.
10. Convention on Biological Diversity, 1992-last updated 8 September, 1997 [Electronic resource] – Mode access: <http://www.biodiv.org/convtext/cbd0000.htm>
11. Zobel B., Talbert J. Applied Forest Tree Improvement. Printed in the United States of America. New York: John Wiley & Sons, 1984. 505 p.
12. Mullin T. J., Bertrand S. Forest management impacts on genetics of forest tree species. Report under Order Number 122994 Ontario Ministry of Natural Resources. Genesis Forest Science Canada Inc. C. P. 64. Quebec. Succursale Haute-Ville. Quebec G 1R4M8. 1998. 36 p.
13. Goncharenko G. G., Silin A. E., Padutov V. E. Allozyme variation in natural populations of Eurasian pines. III. Population structure, diversity, differentiation and gene flow in central and isolated populations of *Pinus sylvestris* in Eastern Europe and Siberia // Sylvae Genetica. 1994. V. 43. P. 119–132.
14. Падутов В. Е., Баранов О. Ю., Воропаев Е. В. Методы молекулярно-генетического анализа. Минск: Юнипол, 2007. 176 с.
15. Драгавцев В. А. Методы анализа внутривидовой изменчивости в лесных популяциях и методы прогноза эффективности аналитической лесной селекции. М.: Центральный НИИ лесной генетики и селекции, 1973. 16 с.
16. Lindgren D. Status number for measuring genetic diversity // Forest Genetics, 1997. 4 (2). P. 69–76.
17. Lindgren D. Doctorand course ON A2; Kurs 99 A. doc/ Dag Lindgren, gen/fys SLU; file: KURSA. DO6. 1999. 54 p. [Electronic resource] – Mode access: <http://linne.genfys.slu.se/bred/bred.htm>
18. Алтухов Ю. П. Генетические процессы в популяциях. М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. 429 с., ил.
19. Белоконов Ю. С., Белоконов М. М., Голиков А. М., Политов Д. В. Сравнительный анализ генетической структуры сосняков Псковской области // Генетика в XXI веке: современное состояние и перспективы развития. Т. II. III съезд ВОГиС. М. 6–12 июня 2004. С. 192.
20. Роне В. М. Генетический анализ лесных популяций. М.: Наука, 1980. 160 с.
21. Романовский М. Г. Групповая изменчивость древесных растений по количественным признакам // Фенетика популяций: Сб. науч. тр. М., 1985. С. 88.
22. Яхнева Н. В., Ларионова А. Я. Генетическая изменчивость лиственницы Гмелина в природных и индуцированных популяциях // Генетика в XXI веке: современное состояние и перспективы развития. Т. II. III съезд ВОГиС. М., 6–12 июня 2004. С. 190.
23. Тимофеев-Ресовский Н. В., Яблоков А. В., Глотов Н. В. Очерки учения о популяции. М.: Наука, 1973. 278 с., ил.
24. Яблоков А. В. Фенетика (эволюция, популяция, признак). М.: Наука, 1980. 136 с., ил.
25. Сукачев В. Н., Зонн С. В. Методические указания к изучению типов леса. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 144 с.
26. Правдин Ф. Л. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 190 с.
27. Правдин Ф. Л. Ель европейская и ель сибирская в СССР. М.: Наука, 1975. 190 с.
28. Ирошников А. И., Мамаев С. А., Правдин Ф. Л., Щербакова М. А. Методика изучения внутривидовой изменчивости древесных пород. М.: ЦНИИЛПИС, 1973. 32 с.
29. Животовский Л. А. Популяционная биометрия. М.: Наука, 1991. 271 с.
30. Путенихин В. П. Лиственница Сукачева на Южном Урале (изменчивость, популяционная структура и сохранение генофонда). Уфа: Уфимский научный центр РАН, 1993. 195 с.
31. Gustafsson L. Biodiversity Assessments in Swedish Forestry Based on Data on Red-Listed Species // EFI Proceedings. 1996. No 6. P. 143–148.
32. Шеннон К. Математическая теория связи // Работы по теории информации и кибернетике. М.: Издательство иностранной литературы, 1963. С. 243–322.
33. Шмальгаузен И. И. Количество фенотипической информации о строении популяции и скорость естественного отбора // Применение математических методов в биологии. Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1960. С. 95–109.
34. Перфильев В. Е. Методические рекомендации по применению статистических методов в генетике и селекции плодовых культур. Мичуринск: Центральная генетическая лаборатория, 1980. 34 с.
35. Мелехов И. С. Лесоведение. М.: Лесная промышленность, 1980. 406 с., ил.
36. Biodiversity and Boreal Forest Ecosystems, Silva Fennica - Special Issue on Climate Change. 1996. Vol. 30(2-3). 383 p.
37. Assessment of Biodiversity for Improved Forest Management / EFI proceeding. № 6. 1996. 192 p.
38. Assessment of Biodiversity for Improvement Forest Planning / EFI proceeding. № 18. 1998. 420 p.

УДК 630

МАКСИМ НИКОЛАЕВИЧ ТРИШКИН

лесной аналитик по проблемам экологии в компании
UPM-Kummenne
maximtrishkin@mail.ru

ЙОНАС РЁНБЕРГ

ассистент профессора Лесного факультета Шведского
университета сельскохозяйственных наук
jonas.ronnberg@ess.slu.se

ОЛЬГА ИВАНОВНА ГАВРИЛОВА

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры
лесного хозяйства лесинженерного факультета ПетрГУ
ogavril@petrsu.ru

ВЕРА НИКОЛАЕВНА ГОРБУНОВА

старший преподаватель кафедры лесного хозяйства лесо-
инженерного факультета ПетрГУ
ogavril@petrsu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАРАЖЕННОСТИ ЛЕСОВ КАРЕЛИИ ГРИБОМ *HETEROBASIDION* SPP

В работе приводятся сведения о качестве заготовленной древесины и степени поражения лесов Карелии корневой губкой (*Heterobasidion* spp.), что имеет как теоретическое, так и практическое значение. После проведения работ по обследованию пней на вырубке выяснилось, что около 30 % имеют разные виды гнилей и около 5–6 % из них имели поражение этим видом.

Ключевые слова: корневая губка, рубка, сосна, ель, качество древесины

По данным Федерального государственного управления (ФГУ) «Рослесозащита», в России в последние годы происходит значительное увеличение площадей погибших насаждений в Северо-Западном округе, в том числе в Архангельской области, республике Коми и Карелии. Первопричиной такого явления большинство авторов считает погодные аномалии [1], но среди факторов, вызывающих сильное ослабление и гибель древесных растений, присутствуют и корневые гнили [1]. Корневые гнили основных лесобразующих древесных пород, в том числе корневая губка (*H. annosum* (Fr.) Bref.) и опенок (*Armillaria* sp.), представляют возможную опасность очагового поражения насаждений и в лесах республики Карелия.

Корневая губка вызывает массовое поражение лесов в различных регионах России и сопредельных государств. Гриб встречается на многих хвойных и некоторых мягколиственных древесных породах, поражая корневые системы и стволы, вызывая либо довольно быстрое ослабление и массовый ветровал в очагах (сосняки), либо развивается почти бессимптом-

но и проявляется в виде ядровой пестрой гнили (ель, пихта). К тому же после удаления в очагах корневой губки древесного яруса молодые древесные растения в лесных культурах и естественном возобновлении на вырубках в довольно раннем возрасте могут вновь заражаться ею, образуя хронические очаги. Болезнь не только приводит к распаду насаждений, но иногда ведет к существенным потерям древесины [2]. На территории Карелии официально очагов корневой губки не зарегистрировано, но по данным ряда публикаций можно предположить наличие скрытых, слабо выраженных очагов корневых гнилей. Так, по результатам изучения экосистем Валаама [3] из возбудителей корневых гнилей отмечено присутствие трутовика Швейнитца (*Phaeolus schweinitzii* (Fr.) Pat.) и опенка осеннего. В более поздних публикациях [4] при обследовании особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Карелии М. А. Бондарцевой, В. И. Крутовым, В. М. Лосицкой отмечено присутствие *H. annosum* на 2 из 5 ООПТ, а именно – в заказнике «Кижский» и на территории музея-заповедника «Валаам». В обоих

случаях гриб отмечен на ели. В. И. Крутов [5] для условий Карелии считает *H. annosum* редко встречающимся видом, биотрофом на старых отмирающих деревьях ели. П. Г. Заводовский [6] для лесных экосистем Пудожского района Карелии отмечает корневую губку на сосне и на ели.

Таким образом, сведения о присутствии в лесах Карелии гнилей, вызываемых корневой губкой, бесспорны, но ее распространение из-за слабой изученности трудно оценить достоверно. В. И. Крутов [7], рассматривая наличие имеющихся в лесохозяйственных организациях Республики данных о состоянии лесов, отмечает, что фаунаность древостоев, оказывающая влияние на выход деловой древесины, в силу объективных сложностей не отражается при характеристике санитарного состояния лесов. Это относится прежде всего к гнилям древесины. Возможно, среди комлевых и стволовых гнилей, имеющих сходные признаки, наряду с гнилями, вызванными еловой губкой (*Phellinus chrysoloma*) и еловым комлевым трутовиком (*Opnia triquetra*), в какой-то мере распространена гниль от *Heterobasidion annosum*. Н. И. Федоров [8] анализирует все факторы массового усыхания в ельниках Восточной Европы, при этом отмечая важнейшую роль абиотических факторов, прежде всего нарушения водного баланса. Немалую роль в процессе усыхания он отводит и корневым гнилям, прежде всего корневой губке. Встречаемость корневой губки в ельниках Белоруссии, по данным Н. И. Федорова, варьирует от 9,7 до 72,2 %. При этом он также указывает, что внешние признаки ослабления и поражения корневой губкой у ели могут долго не проявляться, а некоторые косвенные признаки (вздутие комлевой части, смоляные желваки и смолоподтеки) могут появляться и по другим причинам.

Е. Г. Мозолевская [1], рассматривая масштабы и причины усыхания лесов, отмечает как основную причину – неблагоприятные изменения погодных условий. В то же время она считает, что сравнительно небольшой процент насаждений, погибших от болезней, возможно, преуменьшен из-за несовершенства методов диагностики, выявления и учета очагов болезней. А. В. Жигунов, Т. А. Семакова, Д. А. Шабунин [9], анализируя распространенное на территории Российской Федерации массовое усыхание лесов, имеющее разные причины, в качестве основной достоверно выявленной причины называют для лесов Северо-Запада – корневые гнили. Авторы считают, что единственной гипотезой, объясняющей такую ситуацию, является предположение о сдвиге природно-климатических зон в результате глобальных климатических изменений, подчеркивая, что массовое усыхание лесов не является только российской проблемой, в связи с чем необходимо международное сотрудничество.

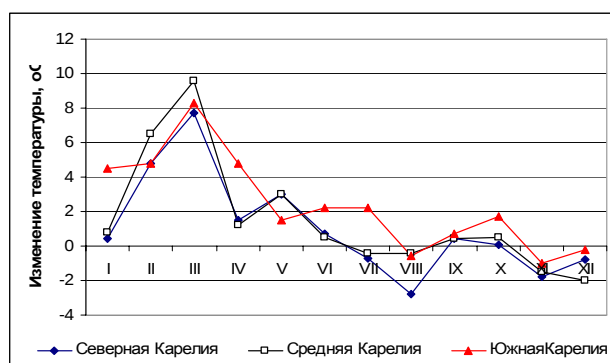


Рис. 1. Изменение среднемесячной температуры с 1951 по 2000 год (°C/50лет)

Таблица 1

Заготовка древесины различными предприятиями на территории Карелии

Лесозаготовительная компания	Площадь рубки	Объем заготовки, м³	Число харвестеров	Объем древесины после главной рубки, м³		Объем древесины от рубок ухода, м³		Заготовка древесины, м³	
				харвестер	мото-инструменты	харвестер	мото-инструменты	зимняя	летняя
ОАО Ладэнсо	246	228785	7	203437	5320	3893	16135	126340	102445
ОАО Олонелес	-	289956	6	-	-	-	-	129099	160857
ЗАО Запкареллес	1533	469846	3	328892	140954	-	-	269077	200769
ОАО ФГУ Ледмозерский	206	129614	3	65746	63868	-	-	56436	73178
ОАО Муезерский ЛПХ	365	219000	3	111163	103437	2600	1800	131360	87640
ОАО ЛПХ Лахденпохский	167	49500	-	-	40500	-	9000	24000	25500
ОАО Кареллеспром	2398	813300	6	292870	175120	-	-	452290	361010
ФГУ Хвойный военный лесхоз	133	23476	-	-	10398	-	13078	8438	15038
ОАО ЛПХ Кондопожское	231	166313	-	-	161154	-	5159	89705	76608
<i>Итого</i>	5279	2389790	28	1002108	700751	6493	45172	1286745	1103045
<i>%</i>	-	-	-	58,8	41,2	12,6	87,4	53,8	46,2

Таблица 2

Характеристика площадей исследования

№	Лесхоз	№ квартала, выдела	Площадь, га	Состав насаждения и средний диаметр по породам	Возраст, лет	Число стволов на 1 га
1	Петрозаводский	47 (6)	5,8	7Е(25)1С(34)2Б(27)	130	660
2	Петрозаводский	47 (9)	3,3	8Е(29)1Б(39)1Ос(45)	130	660
3	Петрозаводский	37 (14)	4,3	8Е(25)1С(38)1Б(28)+Ос(48)	150	600
4	Петрозаводский	36 (23)	4,5	8Е(27)1С(35)1Б(25)	150	600
5	Ладвинский	2 (1)	7,4	6Е(27)3Б(32)1Ос(30)	130	620
6	Хвойный	47 (2)	1,5	4Е(21)4Б(27)2С(26)+Ос(36)	110	960
7	Хвойный	32 (8)	1,0	5С(27)3Б(24)2Ос(32)+Е(20)	80	840
8	Пряжинский	63 (13)	2,0	6Е(32)2Б(25)2Ос(29)	70	620
9	Пряжинский	64 (2)	4,5	8Е(33)2Б(31)+С(25)	110	540
10	Пряжинский	132 (31)	6,8	9Е(24)1Б(19)+С(24)	110	580
11	Пряжинский	18 (1)	23,7	4Б(28)3Е(19)2Ос(33)1С(26)	80	540
12	Пряжинский	17 (14,27,26)	18,6	4Е(18)5Б(25)1Ос(35)	70	600
13	Пряжинский	17(6,7)	16,8	5Е(24)3Б(27)2Ос(40)+С(34)	70	580
14	Кондопожский	115 (7)	3,6	7Е(27)1С(33)1Б(27)1Ос(39)	140	960
15	Кондопожский	113 (9,13,19,20)	3,7	6Е(27)2Б(23)1С(45)1Ос(27)	110	740
16	Кондопожский	113 (1,10)	3,9	5Е(33)3Б(34)2С(33)	110	750
17	Олонецкий	130 (9)	7,7	8Е(29)1Б(17)1Ос(38)+С(28)	120	1040
18	Олонецкий	130 (9)	3,1	4Е(26)4Б(21)2С(38)+Ос	120	1280
19	Суоярвский	249 (6)	8,5	7С(41)3С(23)+Б(34)	90	780
20	Суоярвский	250 (1)	3,8	6С(20)2Е(14)2Б(16)	90	1180
21	Питкярантский	69 (31,35)	3,7	7С(31)2Б(22)1Е(19)	110	580
22	Питкярантский	69 (26)	11,9	6С(27)3Б(23)1Е(22)+Ос(35)	95	600

Глобальное потепление на планете затрагивает вопросы проникновения на территорию республики таких видов фауны, насекомых, патогенных организмов, которых на ее территории не было раньше. Так, изменение средних температур по месяцам за последние 50 лет на территории Карелии составляет 3–5°С (рис. 1 по данным Н. Филатова, 2004), что особенно заметно в весеннее и осеннее время.

Поскольку корневая губка чаще поражает еловые древостой, возможно, проблема заражения лесов Карелии корневой губкой не выявлялась ранее в связи преобладанием на территории республики сосновых насаждений. Однако в связи с рубкой коренных сосновых лесов и недостаточным объемом работ по восстановлению все большие территории покрываются смешанными елово-березовыми древостоями [10].

Возобновление и быстрый рост лиственных пород (березы и осины) обеспечивает к 8–10 годам формирование сомкнутого полога. Происходит сокращение площадей хвойных за счет увеличения доли лиственных лесов. При наличии источников обсеменения под пологом возобновившихся лиственных может поселиться ель. Сосна под пологом лиственных погибает в связи с высокой требовательностью к освещению. О постепенном изменении породного состава лесов высказывается ряд исследователей [11, 12, 13, 14].

В связи с отсутствием развитой инфраструктуры заготовка древесины ранее проводилась традиционно в зимнее время с трелевкой древесины по зимним дорогам. При рубке в зимнее время опасность заражения корневой губкой снижается. В последние годы все большее количество заготовительных предприятий приобретает технику, с помощью которой становится возможной как зимняя (54 %), так и летняя заготовка древесины (46 %) (табл. 1). Так, из опрошенных 8 лесозаготовительных предприятий 6 имеют харвестеры. С их помощью заготавливают 58 % древесины при проведении главных рубок и около 13 % – при проведении рубок ухода.

Целью исследований было изучение поврежденности от патогенных организмов заготавливаемой при главных рубках и рубках ухода древесины в среднетаежной зоне лесов Карелии и выявление количества повреждений корневой губкой (*Heterobasidion* spp).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследовались свежие, не старше 6 месяцев, вырубki, где заготовка древесины проводилась весной и зимой 2007 года. В составе насаждения обязательно присутствовала ель. Подбирались площади сплошных и проходных рубок на территории 6 районов южной части Карелии: Прионежского, Кондопожского, Пряжинского, Олонецкого, Суоярвского и Питкярантского. Возраст насаждений, которые

подлежали исследованию после сплошной и проходной рубки, варьировал от 70 до 150 лет. Всего визуальному осмотру были подвергнуты 150 га вырубок. Визуальному осмотру подлежало не менее 10 % площади вырубки, сделанной коридорным способом. По диагоналям вырубок закладывались пробные площадки для сплошного пересчета пней размером 10×10 м. (табл. 2). Отмечались здоровые и пораженные разными видами гнилей пни. В течение июля и августа 2007 года было осмотрено 1430 пней (рис. 2). Число пней на вырубках было в пределах 540–1280 шт./га. С каждой вырубки было взято по 10 спилов, которые были помещены в полиэтиленовые пакеты для детального изучения в лабораторных условиях. Далее под биноклем при 25-кратном увеличении рассматривались спилы, где отмечалось наличие мицелия и устанавливалась зараженность видами рода *Heterobasidion* по характерному виду конидий.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

После визуального осмотра выяснилось, что от 13 до 55 % пней имеют разные виды гнилей, что в целом составило 36,4 % от количества осматриваемых пней (табл. 3). Анализ процента здоровых и пораженных гнилями спилов показал, что он не зависит от вида рубки. Как после санитарной, так и после главной рубки процент зараженной гнилями варьировал от 15 до 83 %.



Рис. 2. Пораженные разными видами гнили пни на вырубках Прионежского района

Лабораторные исследования показали, что 22 % всех исследованных спилов не содержали мицелий грибов, 6 % исследованных спилов были поражены корневой губкой, а 71 % спилов – другими видами гнилей (табл. 4). Зараженность корневой губкой проявилась по восьми исследованным вырубкам из 22, причем процент поражения варьировал от 10 до 30 процентов.

Процент не пораженной гнилями площади спилов, имеющих грибницу, составил около 3. Небольшие вкрапления гнилой древесины имели 39 % всех спилов. 31 % исследованных спилов имели поражение гнилями менее 50 % от площади спила, и 27 – более 50 %.

Таким образом, в южной части Карелии почти треть заготовленной древесины имела поражение разными видами патогенных организмов и около 6 % – одним из видов гриба *Heterobasidion*. Проведенные исследования подтверждают опасения ученых, работающих в Ленинградской, Архангельской областях, республике Коми и Белоруссии, о продвижении к северу патогенных организмов и возможности заражения лесов среднетаежной зоны.

Таблица 3

Результаты визуального обследования участков спилов

№	Число пней, шт.	Количество здоровых/поврежденных	Вид рубки
1	63	36/27	Сплошная санитарная
2	60	34/26	Сплошная санитарная
3	83	60/23	Сплошная санитарная
4	89	63/26	Сплошная санитарная
5	111	50/61	Сплошная после ветровала
6	33	20/13	Главная
7	20	15/5	Главная
8	36	23/13	Главная
9	65	53/12	Главная
10	95	83/12	Главная
11	114	78/36	Главная
12	81	48/33	Главная
13	108	60/48	Главная
14	82	55/27	Сплошная санитарная
15	49	29/20	Рубки ухода
16	38	25/13	Рубки ухода
17	72	53/19	Главная
18	61	42/19	Главная
19	61	28/33	Главная
20	43	24/19	Главная
21	20	9/11	Санитарная после пожара
22	46	21/25	Санитарная после пожара
Итого	1430	909/521	
%	100	63,6/36,4	

Таблица 4

Зараженность спилов древесины мицелием грибов

№	Диаметр спила, см.	Наличие мицелия в древесине спила			Оценка площади поражения спилов гнилью			
		Без мицелия	Мицелий Heterobasidion spp.	Мицелий других видов грибов	Не поражен	Мозаичные вкрапления	Гниль < 50% площади спила	Гниль > 50% площади спила
1	23	3/10	0/10	7/10	0/10	7/10	2/10	1/10
2	23	3/10	0/10	7/10	4/10	3/10	1/10	2/10
3	21	1/10	0/10	9/10	0/10	0/10	5/10	5/10
4	20	2/10	1/10	7/10	0/10	3/10	5/10	2/10
5	26	2/10	0/10	8/10	0/10	2/10	3/10	5/10
6	22	3/10	0/10	7/10	0/10	1/10	3/10	6/10
7	23	1/10	0/10	9/10	0/10	4/10	2/10	4/10
8	29	2/10	3/10	5/10	1/10	4/10	3/10	2/10
9	23	2/10	1/10	7/10	0/10	5/10	4/10	1/10
10	22	2/10	1/10	7/10	0/10	3/10	4/10	3/10
11	19	3/10	0/10	7/10	0/10	7/10	3/10	0/10
12	20	2/10	0/10	8/10	0/10	4/10	3/10	3/10
13	20	3/10	1/10	6/10	1/10	7/10	2/10	0/10
14	23	2/10	2/10	6/10	0/10	5/10	4/10	1/10
15	42	0/10	1/10	9/10	0/10	6/10	4/10	0/10
16	38	2/10	2/10	6/10	0/10	3/10	5/10	2/10
17	25	2/10	0/10	8/10	0/10	4/10	5/10	1/10
18	25	3/10	1/10	6/10	0/10	4/10	3/10	3/10
19	26	1/10	0/10	9/10	0/10	4/10	2/10	4/10
20	20	3/10	1/10	6/10	1/10	4/10	3/10	2/10
21	33	5/10	0/10	5/10	0/10	3/10	1/10	6/10
22	31	2/10	0/10	8/10	0/10	3/10	1/10	6/10
Σ		49/220	14/220	157/220	7/220	86/220	68/220	59/220
%		22	6	72	3	39	31	27

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Мозолевская Е. Г. Защита лесов России сегодня // Лесобиологические исследования на Северо-Западе таежной зоны России: итоги и перспективы. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 77–83.
- Семенкова И. Г., Соколова Э. С. Фитопатология: учебник для вузов. М., 2003. 480 с.
- Кучко А. А. и др. Экосистемы Валаама и их охрана. Петрозаводск, 1989. 199 с.
- Бондарцева М. А., Крутов В. И., Лосицкая В. М. Афиллофороидные грибы особо охраняемых природных территорий Республики Карелия // Грибные сообщества лесных экосистем. Москва – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2000. 321 с.
- Крутов В. И. Фитопатогенные микро- и макромицеты – консорты древесных пород в Республике Карелия // Грибные сообщества лесных экосистем. Том 2. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. 311 с.
- Заводовский П. Г. Древоразрушающие грибы в лесных экосистемах Пудожского района Республики Карелия // Проблемы лесной фитопатологии и микологии. Материалы 6-й международной конференции. Москва – Петрозаводск, 2005. 388 с.
- Лесные ресурсы, лесное хозяйство и лесопромышленный комплекс Карелии на рубеже XXI века. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. 146 с.
- Федоров Н. И. Основные факторы региональных массовых усыханий ели в лесах Восточной Европы // Грибные сообщества лесных экосистем. Москва – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2000. 321 с.
- Жигунов А. В., Семакова Т. А., Шабунин Д. А. Массовое усыхание лесов на Северо-Западе России // Лесобиологические исследования на Северо-Западе таежной зоны России: итоги и перспективы. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 42–53.
- Синькевич М. С., Шубин В. И. Искусственное восстановление леса на вырубках Европейского Севера. Петрозаводск, 1969. 180 с.
- Соколов А. И., Харитонов В. А. Создание культур ели на вырубках с каменистыми почвами. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. 81 с.
- Гаврилова О. И., Савин И. К. Проблемы и перспективы использования древесной биомассы и лесовосстановления в Карелии. Петрозаводск, 2001. 82 с.
- Саковец В. И., Иванчиков А. А. Динамика лесопользования и состояние лесного фонда Карелии // Лесоводственно-экологические аспекты хозяйственной деятельности в лесах Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. 171 с.
- Филатов Н. И. Климат Карелии. Петрозаводск, 2004.
- Хлюстов В. К., Гаврилова О. И., Морозова И. В. Лесные культуры Карелии. Этапы раннего возраста. М.: Изд-во ФГОУ ВПО РГАУ–МСХА им. К. А. Тимирязева, 2007. 223 с.

УДК 630.3:634.0

АНДРЕЙ ВИКТОРОВИЧ РОДИОНОВ

кандидат технических наук, доцент кафедры механизации
сельскохозяйственного производства агротехнического
факультета ПетрГУ
rodionov@psu.karelia.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МАШИНЫ В УСЛОВИЯХ НЕРАСКОРЧЕВАННЫХ ВЫРУБОК

Представлены результаты теоретических исследований нагруженности машины для лесовосстановления на базе динамического лункообразователя в условиях нераскорчеванных вырубок. Обоснованы рекомендации для оптимального проектирования данной машины.

Ключевые слова: нагруженность, моделирование, лесохозяйственная машина

Основными препятствиями, затрудняющими работу лесокультурных агрегатов на вырубках, являются пни при количестве более 500 шт./га на избыточно увлажненных и более 600 шт./га на свежих и сухих почвах. В таежной зоне вырубки с количеством пней от 600 шт./га занимают свыше 55 % лесокультурного фонда, в том числе на Северо-Западе их более 80 % [1]. Кроме пней, помехи работе агрегатов создают порубочные остатки, валежник, оставленные растущие деревья, камни и корни [2].

Применение лесокультурных агрегатов сельскохозяйственного типа на вырубках в таежной зоне оказалось неэффективным вследствие отказов из-за поломок сошников, а также по показателям качества работы при встрече их с препятствиями в процессе непрерывного рабочего хода в почве [2].

Удаление препятствий (корчевка пней и проч.) в разы удорожает работы и ухудшает условия для развития леса, поэтому для условий таежной зоны оказалось целесообразным отказаться от непрерывного хода рабочих органов в пользу дискретной подготовки посадочных мест под лесные культуры. Работы в этом на-

правлении были начаты в Ленинградской Лесотехнической академии под руководством профессора С. Ф. Орлова, наилучший эффект был получен при использовании динамических лункообразователей (ЛГУ-1, Л-2У и др.) [3].

Теоретическое обоснование проектных параметров для опытных образцов и опытных партий динамических лункообразователей типа Л-2У выполнено в работах профессора А. М. Цыпука [3 и др.], однако до настоящего времени не уделялось достаточного внимания вопросам нагруженности основных элементов этой машины (рычагов, опорных лыж).

При переходе от испытаний к производственной эксплуатации имели место непредвиденные поломки машин при взаимодействии с препятствиями (удары о камни, пни) на вырубках, что затрудняет внедрение лункообразователей в производство [4].

Кроме того, создание универсальной машины для лесовосстановления (рис. 1) на основе динамического лункообразователя типа Л-2У (для подготовки посадочных мест, посева и содействия естественному лесовозобновлению)

потребовало не только обоснования параметров высевающего приспособления, работоспособного в условиях нераскорчеванных вырубок, но также анализа нагруженности этого приспособления при встрече с препятствиями [4, 5].

В процессе работы такой универсальной машины для лесовосстановления в среде препятствий на вырубке возможны следующие неблагоприятные ситуации: удар рабочего органа (рычага) о пень, удар рычага о камень, удар опорной лыжи о пень, удар лыжи о камень после преодоления пня (т. е. падение с высоты пня), соударение опорно-приводного колеса высевающего приспособления с неподвижным препятствием (пнем), падение колеса с высоты пня и удар о камень. Во всех случаях должна обеспечиваться прочность узлов машины.

Следует заметить, что до настоящего времени теория работы лесохозяйственных машин в среде препятствий на вырубках в режиме разнообразных ударов разработана недостаточно, особенно для условий таежной зоны [2, 6].



а



б

Рис. 1. Универсальная машина на базе лункообразователя [9]

а – подготовка посадочных мест; б – посев семян

Трудности в разработке теории имеют математическую и физическую природу. Математические трудности возникают при учете геометрических характеристик взаимодействующих тел, а физические – проистекают из естественного разброса свойств материала при ударах. Следствием этого является возникновение разнообразных упрощенных теорий удара [7, 8 и др.].

Правомерность упрощающих предположений проверяют, используя экспериментальные данные. Если и в случае применения упрощенной физической модели аналитическое решение задачи невозможно или чрезвычайно затруднено, используются численные методы [7]. Развитие информационных технологий создает предпосылки для построения достаточно реалистичных моделей соударения численными методами [8].

Численные методы, допуская использование более сложных физических моделей, требуют проверки достоверности результатов математического моделирования. Такая проверка возможна двумя способами [7, 8, 10]:

1. сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными;
2. сравнение результатов расчетов по данной модели с результатами расчетов, полученных с применением более точной математической модели.

Первый метод представляется наиболее очевидным по известному критерию истины, которым является практика, но имеет недостатки:

- требует значительных затрат времени и ресурсов;
- требует точного соблюдения значений исследуемых параметров объекта в процессе эксперимента, что не всегда возможно;
- имеет неопределенность – к чему относить разницу между результатами расчетов и экспериментальными данными: к погрешности модели, погрешности измерения или влиянию каких-либо неучтенных в эксперименте факторов.

В лесной отрасли отмеченные недостатки усугубляются трудностью подбора однородных объектов для необходимой повторяемости опытов в эксперименте, т. к. эти объекты имеют природное происхождение, а также ограниченными возможностями варьирования величин факторов в эксперименте [11].

Второй метод требует применения более сложного, чем в проверяемой модели, математического аппарата, который обычно проявляется в необходимости решения систем дифференциальных уравнений с большим количеством элементов. Применение компьютеров облегчает этот процесс [7, 8, 10].

В настоящей работе представлена новая методика [5, 12, 13] моделирования соударения элементов универсальной машины на базе динамического лункообразователя типа Л-2У с препятствиями на вырубке, развивающая ранее выполненные исследования [3, 14].

Целью методики является определение для возможных вариантов соударений рабочих орга-

нов машины с препятствиями коэффициентов динамичности, необходимых для проектных и конструкторских работ при создании и совершенствовании динамических лункообразователей и машин на их базе.

Для создания методики использованы аналитические и численные методы, эффективность которых доказана применительно к объектам, работающим в условиях ударных нагрузок [7, 8, 10].

В методике [5, 12, 13] учитывается, что при посадке леса в среде препятствий на вырубке возможны следующие неблагоприятные с точки зрения нагруженности динамического лункообразователя ситуации: удар рычага о пень, удар иглой на конце рычага о камень, удар опорного устройства (лыжи) о пень, удар лыжи о камень после преодоления пня. Прочность узлов лункообразователя должна гарантировать его надежное функционирование в среде естественных препятствий (пней, камней).

При ударе рабочего органа (рычага с иглой) о препятствие потенциальная энергия рабочего органа, накопленная путем напряжения пружины и подъема рычага, преобразуется в кинетическую энергию, которая частично рассеивается в металлоконструкции машины и может вызвать ее поломки (рис. 2).

Уменьшить величину потенциальной энергии можно, но нецелесообразно, т. к. ее величина должна соответствовать кинетической энергии, затрачиваемой на образование лунки. Численное ее значение применительно к различным условиям определено ранее и составляет 1...1,5 кДж [3, 14].

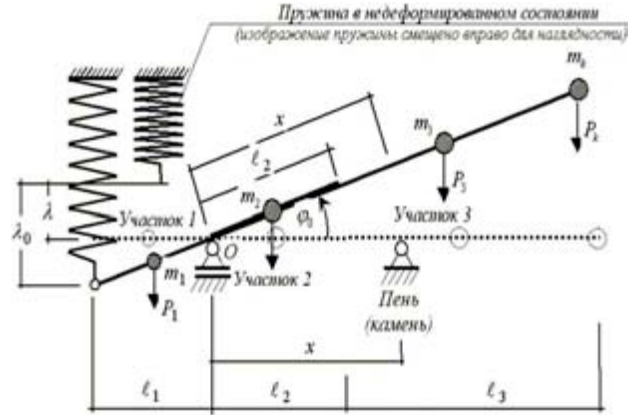


Рис. 2. Расчетная схема динамического лункообразователя

λ, λ_0 — текущее и начальное удлинение пружины, м; φ_0 — угол качания рычага, град.; m_1, m_2, m_3 — погонные массы участков рычага, кг/м; m_k — масса иглы, кг

Поворот рычага с иглой вокруг оси O (см. рис. 2) под действием собственного веса и силы натяжения пружины можно описать выражением (1), где J — момент инерции рычага, кг·м²; ω — угловая скорость рычага, рад/с; c_0 — коэффициент жесткости пружины, Н/м. Проинтегрировав выражение (1), получим точную величину кинетической энергии E_k рабочего органа. Дальнейшими преобразованиями определим угловую скорость ω и угловое ускорение ε рабочего органа.

$$J\omega d\omega = m_1 g \frac{\ell_1}{2} \cos \varphi d\varphi - m_2 g \frac{\ell_2}{2} \cos \varphi d\varphi - m_3 g \left(\ell_2 + \frac{\ell_3}{2} \right) \cos \varphi d\varphi - \dots \rightarrow$$

$$\rightarrow \dots - m_k g (\ell_2 + \ell_3) \cos \varphi d\varphi - c_0 (\lambda_0 - \ell_1 (\sin \varphi_0 - \sin \varphi)) \ell_1 \cos \varphi d\varphi, \quad (1)$$

$$E_k = J \frac{\omega^2}{2} = (A - c_0 \ell_1 (\lambda_0 - \ell_1 \sin \varphi_0)) (\sin \varphi - \sin \varphi_0) + \frac{1}{4} c_0 \ell_1^2 (\cos(2\varphi) - \cos(2\varphi_0));$$

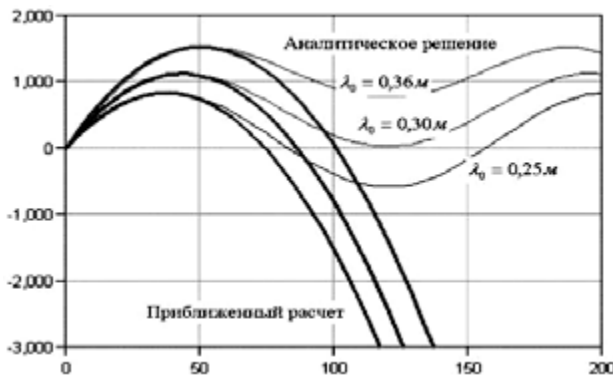
$$A = m_1 g \frac{\ell_1}{2} - m_2 g \frac{\ell_2}{2} - m_3 g \left(\ell_2 + \frac{\ell_3}{2} \right) - m_k g (\ell_2 + \ell_3). \quad (2)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{2E_k}{J}}; \quad \varepsilon = \omega \frac{d\omega}{d\varphi}; \quad (3)$$

$$\varepsilon = \frac{1}{J} \left[\left(\frac{m_1 \ell_1}{2} - \frac{m_2 \ell_2}{2} - m_3 \left(\ell_2 + \frac{\ell_3}{2} \right) - m_k (\ell_2 + \ell_3) \right) \cdot g - c_0 \ell_1 (\lambda_0 - \ell_1 \varphi) \right] \cdot \cos \varphi - \frac{1}{2J} c_0 \ell_1^2 \sin(2\varphi); \quad (4)$$

$$J = \int_0^{\ell_1} s^2 (\bar{m}_1 ds) + \int_0^{\ell_2} s^2 (\bar{m}_2 ds) + \int_{\ell_2}^{\ell_2 + \ell_3} s^2 (\bar{m}_3 ds) + m_k (\ell_2 + \ell_3)^2 =$$

$$= \frac{\bar{m}_1 \ell_1^3 + \bar{m}_2 \ell_2^3 + \bar{m}_3 ((\ell_2 + \ell_3)^3 - \ell_2^3)}{3} + m_k (\ell_2 + \ell_3)^2. \quad (5)$$

Рис. 3. Изменение кинетической энергии E_k

E_k , Дж, в зависимости от угла поворота рычага $\varphi = 0...200^\circ$
(система технологически пригодна, если $\lambda_0 \geq 0,30$ м, тогда $0 < E_k \leq 1500$ Дж)

Результаты расчетов по формулам (2...5) в разработанной программе для ПЭВМ в среде «Maple» [15] для динамического лункообразователя Л-2У [3] показаны на рис. 3.

Проверка модели (2...5) осуществлялась последовательным выполнением приближенного и точного расчетов. Приближенный расчет обеспечил полную сходимость с аналитическим решением при угле поворота рычага до 600, в реальном диапазоне для динамического лункообразователя типа Л-2У (рис. 3).

Для исследования нагруженности рычага динамического лункообразователя при соударении с препятствием (пнем, камнем) рычаг моделируется балкой с пролетом x (рис. 2), материал которой подчиняется закону Гука.

Для исследования поведения балки при соударении с опорами использован метод конечных разностей, а для проверки его применимости к условиям задачи – метод конечных элементов, реализованные в программе для ПЭВМ в среде «Maple» [15].

Установлено, что при ударе иглой на конце рычага Л-2У о камень коэффициент динамичности равен 465, а напряжение изгиба 276 МПа. При ударе серединой рычага о пень коэффициент динамичности равен 103, а напряжение изгиба 265 МПа. Высокие значения коэффициентов динамичности показывают, что масса машины используется наилучшим образом для совершения работы, характеризуя ресурсосбережение при использовании динамического принципа образования лунок. Требования к качеству материалов при этом растут.

Уравнение баланса энергии при соударении опорного устройства (лыжи) лункообразователя с пнем (рис. 4) имеет вид:

$$\frac{mv^2 \sin^2 \gamma}{2} + mg\Delta k_{din} \cos \gamma = \frac{N^2}{2k_s} k_{din}^2, \quad (6)$$

где m – масса лыжи и части машины, кг; v – скорость агрегата, м/с; γ – угол, образованный горизонтальной

плоскостью и плоскостью лыжи, град.; Δ – перемещение лыжи при соударении с пнем, м, обусловлено деформацией пня; k_{din} – коэффициент динамичности; N – сила контактного взаимодействия, Н; k_s – приведенный коэффициент жесткости системы «лыжа-пень», Н/м (коэффициент жесткости пня определялся экспериментально – $18...46 \cdot 10^6$ Н/м).

Коэффициент динамичности получим, найдя положительный (с учетом физического смысла задачи) корень уравнения, выражаемого из равенства (6):

$$k_{din} = \frac{mg \cos \gamma}{N} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{k_s v^2}{mg^2} \tan^2 \gamma} \right). \quad (7)$$

Моделирование соударения лыжи с пнем в программе для ПЭВМ в среде «Maple» [16] выявило, что с увеличением угла наклона лыжи и скорости движения агрегата возрастают силы динамического взаимодействия (рис. 5). Рекомендуемый угол наклона лыжи составляет 33...570, при допустимой нагрузке в навесном устройстве трактора ЛХТ-55 или ЛХТ-100 не более 40 кН.

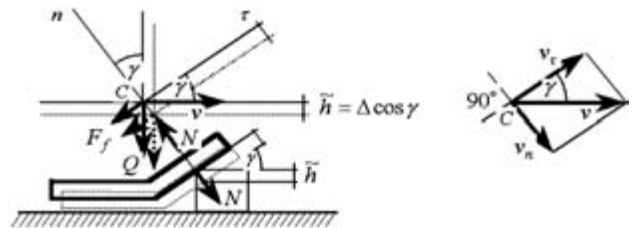


Рис. 4. Расчетная схема соударения лыжи с пнем

F_f – сила трения, Н; Q – вес лыжи и части машины, Н; точка C находится в области контакта опорной лыжи с пнем

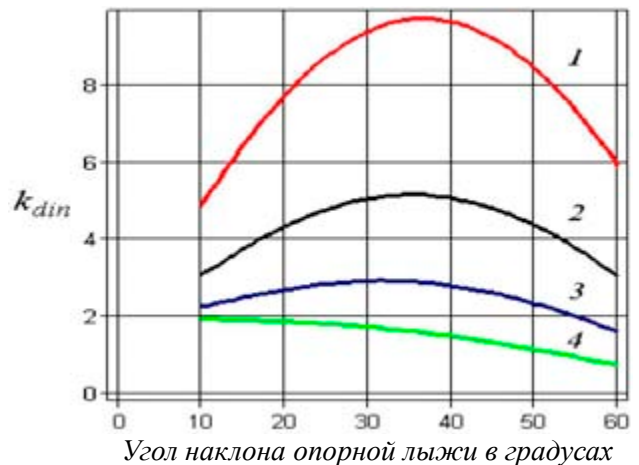


Рис. 5. Зависимость коэффициента динамичности от угла наклона лыжи и скорости агрегата

Кривые 1...4 построены для скорости агрегата равной 1,0; 0,5; 0,25 и 0,1 м/с соответственно

Завершающей стадией взаимодействия с неподвижным препятствием (пнем) является свободное падение лыжи с присоединенной частью массы лункообразователя с высоты пня H на почву или камень. Уравнение баланса энергии в этой ситуации будет выглядеть так:

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{N_{din}\Delta_{din}}{2}, \quad (8)$$

где m – масса лыжи с присоединенной частью массы машины, кг; v – скорость свободного падения, м/с; N_{din} – сила контактного взаимодействия, Н; Δ_{din} – перемещение по направлению силы N_{din} , м.

При упругом соударении сила N_{din} и перемещение Δ_{din} связаны так:

$$N_{din} = k_s \Delta_{din}; \quad N_{din} = v \sqrt{mk_s}, \quad (9)$$

где k_s – коэффициент жесткости лыжи в вертикальном направлении (при падении лыжи на камень как абсолютно жесткое тело) или приведенный коэффициент жесткости системы «лыжа-почва» (при падении лыжи на почву).

Зная коэффициенты жесткости $k_s^{лыжи}$ и $k_s^{почвы}$, найдем коэффициент динамичности k_{din} при свободном падении лыжи и соударении с почвой или камнем:

$$k_{din} = \frac{v \sqrt{mk_s}}{mg}, \quad (10)$$

Коэффициент $k_s^{почвы}$ получим, найдя положительный корень уравнения, выражаемого из соотношений (8) и (9), с учетом известного выражения [2] для определения силы сопротивления внедрения в почву деформатора произвольной формы:

$$k_s^{почвы} = \left(\frac{S_6 \cdot [\delta_{CM}]}{2 \cdot v \cdot \sqrt{m}} + \sqrt{\left(\frac{S_6 \cdot [\delta_{CM}]}{2 \cdot v \cdot \sqrt{m}} \right)^2 + P \cdot f \cdot [\delta_{CM}]} \right)^2, \quad (11)$$

где S_6 – площадь верхнего основания деформатора (лыжи), м²; P – периметр основания деформатора, м; f – коэффициент трения «сталь-почва».

Расчеты по формулам (8...11) выполняются в «Mathcad». Результаты представлены на рис. 6.

При работе универсальной машины на базе лункообразователя в режиме посева возможны следующие неблагоприятные с точки зрения нагруженности ситуации: удар колеса о пень, падение колеса с высоты преодолеваемого пня.

Уравнение баланса энергии при соударении колеса высевающего приспособления с пнем (рис. 7) запишется аналогично (6):

$$\frac{mv^2 \cos^2 \alpha}{2} + mg \Delta k_{din} \sin \alpha = \frac{N^2}{2k_s} k_{din}^2, \quad (12)$$

где m – масса высевающего приспособления, кг.

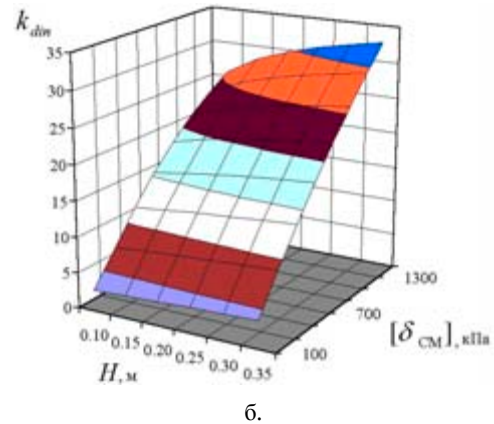
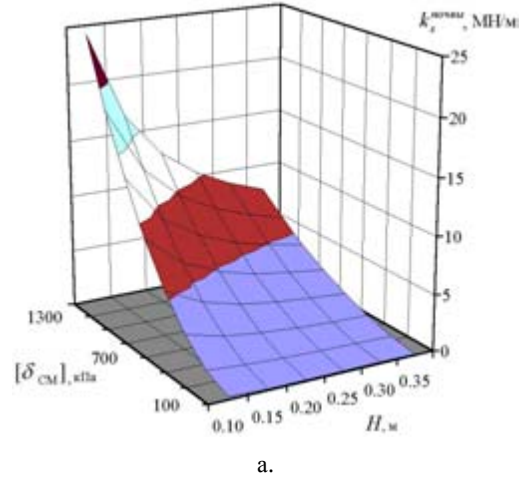


Рис. 6. Параметры процесса падения лыжи с пня

а – коэффициент жесткости почвы $k_s^{почвы}$; б – коэффициент динамичности k_{din}

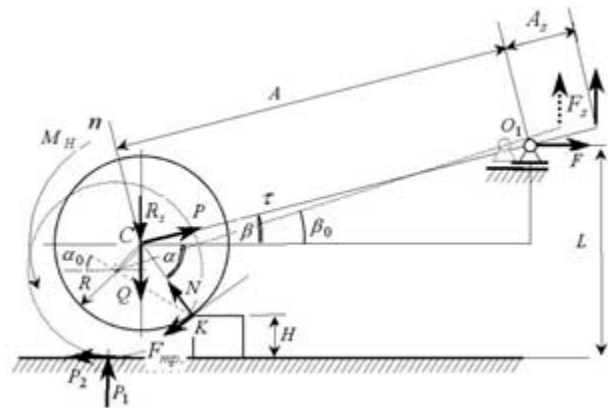
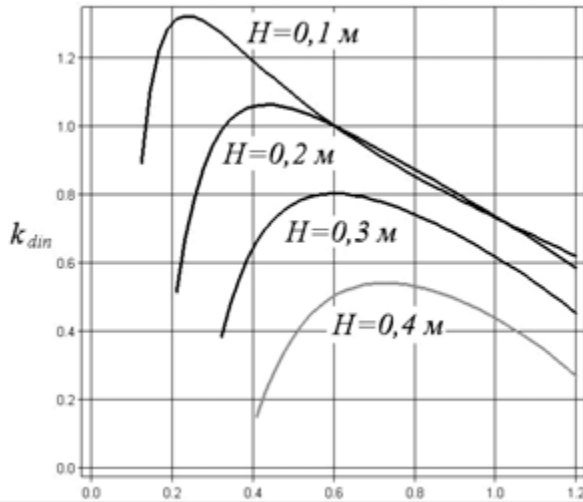
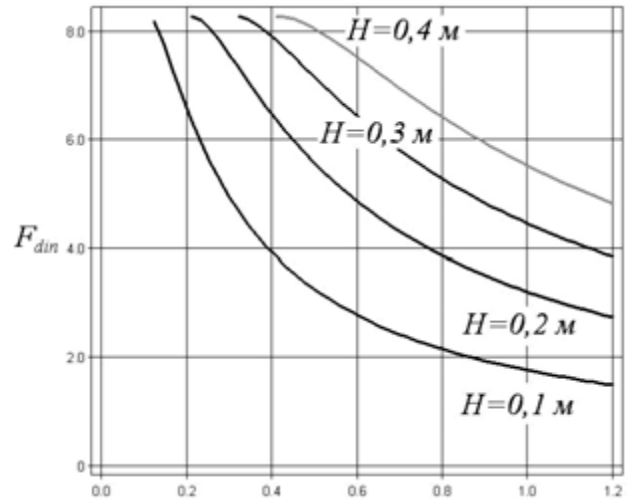


Рис. 7. Модель секции высевающего приспособления

H – высота пня, м; R – радиус жесткого опорно-приводного колеса, м; A и A_s – длины звеньев рычага, м; F – сила тяги трактора, Н; P – продольная сила в звене CO_1 , Н; Q – вес, передаваемый на ось колеса, Н; F_s – сила растяжения пружины, Н; k_s – коэффициент жесткости пружины, Н/м; N – нормальная составляющая силы взаимодействия колеса с пнем, Н; $F_{тр} = fN$ – сила трения в области контакта колеса с пнем, Н; f – коэффициент трения скольжения в этой области; $M_H = \mu N$ – момент трения качения, Н; μ – коэффициент трения качения; P_1 – реакция почвы, Н; P_2 – сила трения в области контакта с почвой, Н

Рис. 8. Зависимость k_{din} от радиуса колеса R , мРис. 9. Зависимость силы F_{din} , Н от радиуса колеса R , м

Коэффициент динамичности получим, найдя положительный корень уравнения, выражаемого из соотношения (12):

$$k_{din} = \frac{mg \sin \alpha}{N} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{k_s v^2}{mg^2 \tan^2 \alpha}} \right), \quad (13)$$

Анализ расчетов в программе для ПЭВМ в среде «Maple» [17] показал, что коэффициент k_{din} растет при уменьшении высоты пня (рис. 8 и 9). При этом теоретическая величина силы $F_{dyn} = F \cdot k_{dyn}$ также убывает; следовательно, для преодоления пня большей высоты необходим трактор с большей силой тяги, что соответствует практике.

Моделирование падения колеса высевающего приспособления с высоты преодолеваемого пня выполняется с помощью формул (8...10). Коэффициент жесткости почвы $k_s^{почвы}$ определяется численно (в «Mathcad») из уравнения (14), где L_p – ширина реборды колеса, м.

Масса m определяется выражением (15), где m_{np} – приведенная масса рычага и секции приспособления, кг; k_s – коэффициент жесткости пружины рычага, Н/м; λ – перемещение пружины, соответствующее перемещению приведенной массы, м; S – остаточное натяжение пружины в позиции, когда колесо оперлось о почву (камень), м.

$$[\delta_{CM}] \cdot \left(\left(L_p + \sqrt{\frac{2g \cdot H \cdot m}{k_s^{почвы}}} \cdot f \right) \cdot 2 \sqrt{2R \sqrt{\frac{2g \cdot H \cdot m}{k_s^{почвы}}} - \frac{2g \cdot H \cdot m}{k_s^{почвы}}} + 2L_p \cdot \sqrt{\frac{2g \cdot H \cdot m}{k_s^{почвы}}} \cdot f \right) - \sqrt{2g \cdot H \cdot m \cdot k_s^{почвы}} = 0, \quad (14)$$

$$m = \frac{m_{np} \cdot g \cdot H + k_s \lambda \cdot \left(\frac{\lambda}{2} + S \right)}{gH}; \quad \lambda = \frac{H \cdot A_s}{A}. \quad (15)$$

ВЫВОДЫ:

1. Представленная методика рекомендуется для оптимального проектирования машины для лесовосстановления на базе лункообразователя типа Л-2У.
2. Расчеты по представленной методике для машины на базе лункообразователя Л-2У

показали, что при работе на вырубке в диапазоне скоростей 1,8...3,6 км/ч возникают ударные нагрузки, которые характеризуются коэффициентами динамичности: от 1,1 (наезд колесом на пень) до 465 (удар рычагом о камень).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Судьев Н. Г. Лесохозяйственный справочник для лесозаготовителя. М.: Лесная промышленность, 1989. 328 с.
2. Цыпук А. М. Лесохозяйственные машины и их применение: учеб. пособие. В 3 ч. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1999.
3. Разработка и внедрение в производство орудий Л-2 для двухрядного приготовления посадочных лунок: Отчет о НИР (промежуточ.) / Рук. А. М. Цыпук. № ГР 01828067337. Петрозаводск, 1985. 109 с.

4. Внедрение в производство лункообразователя: Отчет о НИР (заключит.) № ГР 02.2.006 04941 от 08.06.2006. Петрозаводск, 2006. 33 с.
5. Родионов А. В. Рубка и восстановление леса на основе ресурсосберегающей технологии М.: Флинта: Наука, 2006. 276 с.
6. Зима И. М. Механизация лесохозяйственных работ. М.: Лесная промышленность, 1976. 416 с.
7. Бидерман В. Л. Теория механических колебаний. М.: Высшая школа, 1989. 408 с.
8. Зылев В. Б. Вычислительные методы в нелинейной механике конструкций. М.: Науч.-изд. центр «Инженер», 1999. 145 с.
9. Родионов А. В. Рекомендации по восстановлению леса на вырубках с использованием лункообразователя Л-2У. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2006. 52 с.
10. Колесников Г. Н. Дискретные модели механических систем с односторонними связями. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2004. 204 с.
11. Герасимов Ю. Ю. Лесосечные машины: компьютерная система принятия решений. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1998. 236 с.
12. Родионов А. В. Моделирование балочного элемента лесопосадочной машины как упругой механической системы с распределенной массой при соударениях // Вестник Поморского университета. 2006. № 4. С. 148–155.
13. Родионов А. В. Применение методов математического моделирования в задачах совершенствования технологических процессов на предприятиях лесопромышленного комплекса. Петрозаводск, 2007. 161 с. Деп. в ВИНТИ 19.02.2007, № 147-B2007.
14. Марков О. Б. Обоснование параметров рычажно-кулачкового механизма динамического лункообразователя для посадки лесных культур: Дис. ... канд. техн. наук. Петрозаводск, 2006. 163 с.
15. Раковская М. И. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 6860. Моделирование балочного элемента лесохозяйственной машины при поперечном ударе как упругой механической системы с распределенной массой / М. И. Раковская, А. В. Родионов, Г. Н. Колесников; заявитель и правообладатель ПетрГУ. № 50200601619; заявл. 07.09.2006; опубл. 11.09.2006.
16. Родионов А. В. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 6862. Моделирование соударения опорной лыжи сеялки с препятствием / А. В. Родионов, Г. Н. Колесников, А. М. Цыпук; заявитель и правообладатель ПетрГУ. № 50200601621; заявл. 07.09.2006; опубл. 11.09.2006.
17. Родионов А. В. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 6868. Моделирование соударения колеса сеялки с препятствием / А. В. Родионов; заявитель и правообладатель ПетрГУ. № 50200601627; заявл. 07.09.2006; опубл. 11.09.2006.

УДК 630

ИЛЬЯ РОМАНОВИЧ ШЕГЕЛЬМАН

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесного комплекса лесотехнического факультета ПетрГУ
shegelman@onego.ru

ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ СКРЫПНИК

старший инженер кафедры технологии и оборудования лесного комплекса лесотехнического факультета ПетрГУ
karniilp@onego.ru

ОЛЕГ НИКОЛАЕВИЧ ГАЛАКТИОНОВ

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и оборудования лесного комплекса лесотехнического факультета ПетрГУ
galakt@psu.karelia.ru

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ЛЕСОСЕЧНЫХ РАБОТ

Определены рациональные комплекты лесосечных машин в условиях обострения конкуренции производителей лесных машин на ценовой и внеценовой основе. Ввиду перспектив сортиментной заготовки и необходимости замены парка машин перспективно использование российской и белорусской техники с импортным оборудованием. Рекомендованы НИОКР по импортозамещению.

Ключевые слова: технология лесосечных работ, комплекс машин, технологическое оборудование, производительность

Для лесозаготовительных предприятий страны весьма актуальна проблема принятия решений при выборе лучших из предлагаемых отечественными и зарубежными фирмами лесосечных машин, оборудования и технологий. Этот выбор осложняется тем, что принятие решений осуществляется при ограниченности оборотных средств, крайней изношенности машинного парка лесозаготовительной техники, а также при недостатке информации о показателях работы предлагаемой техники в сложных природно-производственных условиях лесозаготовительных предприятий. В ряде случаев фирмами, ведущими агрессивную маркетинговую политику, информация о технике предоставляется не в полном объеме и носит рекламный характер.

Объективную оценку для грамотного выбора наиболее эффективных комплектов техники и прогнозирования их технико-экономических показателей в различных природно-производственных условиях целесообразно поручать специализированным организациям, в первую

очередь научным организациям отрасли. В условиях Северо-Запада России такую оценку ведет КарНИИЛПК. Ниже приведены некоторые результаты независимой оценки техники для лесосечных машин, выполненной КарНИИЛПКом в условиях Северо-Запада европейской части России.

Традиционная для России технология заготовки леса в хлыстах до настоящего времени остается преобладающей в стране [1], несмотря на то что, начиная с 90-х годов XX века, в стране на лесосечных работах нарастают объемы сортиментной заготовки леса.

Производство гусеничных трелевочных тракторов и базовых машин для заготовки леса в хлыстах в СССР и в России традиционно было сосредоточено на двух крупных предприятиях – Онежском и Алтайском тракторных заводах (ОТЗ и АлТЗ). Первый выпускал тракторы и базовые машины для заготовки леса в насаждениях с мелким и средним объемом хлыста в условиях Северо-Запада, Севера и Центра европейской части России, второй – для освоения лесного фонда в Сибири и на Дальнем Востоке.

АлТЗ характеризовался более крупным объемом хлыста и значительным запасом древесины на 1 га.

Основными тракторами, выпускаемыми этими заводами, являющимися одновременно и базами для изготовления лесозаготовительных машин различного назначения, были ТДТ-55А (ОТЗ) и ТТ-4 (АлТЗ). В настоящее время эти тракторы сняты с производства. Взамен этих тракторов ОТЗ выпускает более мощные и совершенные тракторы ТЛТ-100 и их модификации, обладающие повышенными эргономическими качествами, имеющие мощность двигателя 120 л.с., модернизированную ходовую систему, отличающиеся мощностью двигателя, шириной гусениц и некоторыми другими показателями.

Эффективной модификацией тракторов ОТЗ является трактор ТЛТ-100-06, оснащенный гусеницами шириной 640 мм (у базовой модели 420 мм) и двухступенчатым бортовым редуктором с ведущими колесами большего диаметра. Эти решения позволили увеличить длину и ширину опорной поверхности и значительно повысить проходимость трактора на грунтах с низкой несущей способностью, увеличить его боковую устойчивость. Все это повысило надежность тракторов в трудных природно-производственных условиях и сменную производительность до 20–30 %.

На базе трактора ТЛТ-100-06 ОТЗ освоено производство машин для бесчokerной трелевки с манипулятором ТБ-1М-15 (Онежец-120). У машины ТБ-1М-15, в отличие от прототипа (ТБ-1), кроме замены базового трактора, вылет манипулятора увеличен с 5 до 8 м, установлен ротор для поворота захвата и электрогидравлическая пропорциональная система управления. В результате производительность в сравнении с ТБ-1 повысилась на 25–30 %.

В свое время (1970–1980 гг.) Сыктывкарским машиностроительным заводом на базе тракторов ТБ-1 и ТБ-1М серийно выпускались валочно-трелевочные машины (ВТМ) ЛП-17 и ЛП-17А. Партию ВТМ (ВП-80, ВП-100) с усовершенствованным захватно-срезающим устройством, позволяющим ускорить процесс срезания, повала и укладки дерева в коник машины, изготовил ОТЗ. ВТМ ЛП-17 и ВП-80 обеспечивали сменную производительность 50–60 м³ при среднем объеме хлыста до 0,22–0,30 м³, в 3 раза была повышена комплексная выработка на валке-трелевке-штабелевке деревьев. К сожалению, конструкторские и исследовательские работы были остановлены, и выпуск этих машин был прекращен, хотя при объеме хлыста до 0,4 м³ их применение эффективно.

Для хлыстовой заготовки в насаждениях с достаточно крупным объемом хлыста были разработаны отечественные валочно-пакетирующие машины (ВПМ) и трелевочные тракторы с пачковым захватом. На первом этапе это были ВПМ ЛП-19 и скидлеры на шасси гусеничных тракторов ТДТ-55А, ЛТ-89, а также колесный пачкоподборщик ЛТ-157.

В настоящее время отечественные машиностроительные предприятия выпускают ВПМ ЛП-19В, МЛ-119, МЛ-135 и другие модификации ВПМ. ВПМ ЛП-19В и МЛ-119 имеют ЗСУ с цепным пильным устройством, а МЛ-135 – ЗСУ с дисковым срезющим устройством и накопителем, где могут удерживаться до 5–7 деревьев диаметром 20 см. ВПМ МЛ-135 можно рекомендовать к использованию в насаждениях с небольшим объемом хлыстов.

На базе гусеничных тракторов ОТЗ нового поколения освоено производство гусеничных скидлеров ЛТ-230, ТБ-1М-30 и ЛТ-137-01. ОТЗ и ЦНИИМЭ разработаны колесные скидлеры ТЛК4-01 и МЛ-30. Первый – на базе специальной модели лесного колесного трактора 4×4, второй – на базе сельскохозяйственного трактора К-703.

При значительном расстоянии трелевки для повышения производительности целесообразно использовать тракторы с манипулятором типа ТБ-1М-15, при этом средний объем трелеваемых пачек составит 7–8 м³. При использовании машины для бесчokerной трелевки МЛ-107, разработанной ОАО «Курганмашзавод», объем трелеваемых пачек достигает 14 м³.

В последние годы в России расширяется применение зарубежных ВПМ, характерными из них являются ВПМ ТЛ-850 и скидлер ТЛ-460. Практика показала, что полностью освоить лесной фонд комплексами машин в составе колесных ВПМ и скидлеров сложно на грунтах с низкой несущей способностью и на крутых склонах, где не обеспечивается проходимость и устойчивость пачкоподборщиков с колесным двигателем. Поэтому ряд предприятий для освоения труднодоступных участков в комплекс колесных ВПМ + скидлер включают трактор с манипулятором или пачкоподборщик с гусеничным двигателем.

Необходимо отметить, что зарубежные фирмы успешно конкурируют на отечественном рынке, предлагая не только технику для лесосечных работ, но и ее комплексное сервисное обслуживание и подготовку кадров. Однако интенсивное расширение применения машин и комплексов машин зарубежного производства в России сдерживают их высокая стоимость и необходимость эксплуатации в 2–3 смены.

При хлыстовой заготовке на обрезке сучьев используют сучкорезные машины ЛП-30 и ЛП-30Г. Ввиду прекращения производства этих машин на обрезке сучьев можно использовать сучкорезные машины ЛП-33А-01 на базе трактора ТЛТ-100, производимые ОАО «Екатеринбургский машиностроительный завод». В некоторых предприятиях в Республике Карелия, например в ОАО «Муезерский леспромхоз», на этой операции используются харвестерные головки, установленные на экскаваторную базу. Производительность на обрезке сучьев в этом случае в сравнении с ЛП-30 повышается в 1,5–2 раза.

В 80-е годы XX века в России была разработана удачная конструкция сучкорезной машины

ЛП-51 с непрерывным протаскиванием деревьев. При испытании и опытной эксплуатации их производительность вдвое превышала производительность ЛП-30. ЛП-51 не уступала лучшим современным образцам зарубежных машин такого назначения. Однако в серийное производство была запущена менее совершенная машина ЛП-33, которая без существенных доработок серийно выпускается до сих пор. Считаем целесообразным доработать машину ЛП-51 с учетом современных возможностей, используя в качестве базовой машины ТЛТ-100 (ТЛТ-100-06) или новый трактор ОАО «ОТЗ» Онежец-300, серийный выпуск которого запланирован с 2006 года.

Анализ технико-экономических показателей работы систем машин для заготовки леса в хлыстах показывает, что при односменной работе наименьший уровень приведенных затрат имеет вариант с применением на валке-обрезке сучьев бензопил, на трелевке и штабелевке – тракторов ТЛТ-100-06.

Однако в этой системе машин низки уровень механизации работ и комплексная выработка, составляющая 12 м³/чел.-день.

В системах машин, в которых на валке используются бензопилы, на трелевке – трактор ТЛТ-100-06, на обрезке сучьев – ЛП-33-01, удельные эксплуатационные затраты выше, чем в указанной системе, на 16 %, приведенные – на 13 %, однако комплексная выработка больше практически в 1,5 раза (16,8 м³/чел.-день).

При использовании на валке бензиномоторных пил, на трелевке – ТБ-1М-15, на обрезке сучьев – ЛП-33А-01 комплексная выработка составляет 25 м³/чел.-день. При работе машин в две смены удельные эксплуатационные затраты составляют 73,4 руб./м³, приведенные – 96,6 руб./м³.

При расстоянии трелевки до 300 м (среднее расстояние 150 м) наиболее эффективны системы машин, в которых на валке-пакетировании используется ВПМ, на трелевке – трактор ТБ-1М-15 или ТБ-1М-30. Эти системы обеспечивают высокую комплексную выработку на человеко-день (до 53 м³), полную механизацию работ; эксплуатационные затраты составляют соответственно 54–62 руб./м³ и 75–85 руб./м³. В системе, в которой валка-пакетирование производится машиной ЛП-19, трелевка – ТЛТ-100-06, обрезка сучьев – ЛП-33Б-01, эксплуатационные затраты примерно на том же уровне, а комплексная выработка на человеко-день ниже на 26–30%.

Полную механизацию производственного процесса может обеспечить также система машин в составе валочно-трелевочной машины на базе трактора ТБ-1М-15 и сучкорезной машины. В этой системе эксплуатационные и приведенные затраты несколько больше, чем в рассмотренных выше системах, однако при мелком объеме хлыста (до 0,25 м³) она будет более эффективна.

Наибольшую производительность из машин отечественного производства на трелевке имеет

колесный трактор ТЛК-4-01 (225 м³/смену), в системе машин – ВПМ, тракторы ТЛК-4-01 и ЛТ-33А-01. В этой системе наибольшая комплексная выработка на человеко-день (57,8 м³), однако уровень эксплуатационных и приведенных расходов выше, чем в системе при использовании на трелевке гусеничного пачкоподборщика ТБ-1М-30 или трактора с манипулятором ТБ-1М-15. Предварительные расчеты показывают, что по технико-экономическим показателям трактор ТЛК-4-01 превосходит указанные тракторы при расстоянии трелевки 250–300 м и более.

В настоящее время на многих предприятиях Архангельской, Вологодской области, Республики Карелия на валке-пакетировании и трелевке используются машины различных зарубежных фирм.

Анализ технико-экономических показателей работы системы машин в составе ВПМ Тj-850, скиддеров (пачкоподборщики) Тj-460 и сучкорезной машины ЛП-33-01 показал, что производительность пачкоподборщика Тj-460 выше, чем ТЛК-4-01 на 9 %, а ВПМ Тj-850 выше ЛП-19Б на 51 %. Высокая производительность ВПМ фирмы «Тимберджек» определяется наличием накопителя в захвате ЗСУ, что при небольшом объеме хлыста способствует резкому снижению затрат времени на перенос и укладку деревьев в пачки, а также использованию для спиливания деревьев не цепных, а дисковых пил.

Однако, ввиду высокой стоимости машины, приведенные и эксплуатационные затраты на валке-пакетировании и трелевке выше, чем при выполнении этих операций ВПМ и пачкоподборщиками отечественного производства в 2–2,2 раза.

Выработка на человеко-день по циклу работ валка-трелевка-обрезка сучьев всего на 12,2 % выше, чем в системе машин ЛП-19, ТЛК-4-01, ЛП-33-01.

Исходя из проделанного анализа, можно сделать вывод, что применение зарубежной техники при заготовке леса в хлыстах в случае односменной работы неэффективно, по сравнению с системами машин на базе отечественной техники, так как приводит к существенному увеличению себестоимости лесопродукции. Следует учесть, что во всех системах машин на обрезке сучьев принята сучкорезно-раскряжевочная машина отечественного производства. При использовании на этой операции зарубежных машин удельные эксплуатационные и приведенные затраты по циклу работ валка деревьев-трелевка-обрезка сучьев-штабелевка еще возрастут.

Расчеты технико-экономических показателей работы машин и комплексов машин для заготовки леса в хлыстах определены для типичных природно-производственных условий (среднее расстояние трелевки 200 м, средний объем хлыста 0,35 м³, вторая категория местности по условиям проходимости). Проведенный анализ показывает, что при среднем объеме хлыста менее

0,3 м³ системы машин, включающие валочно-трелевочную машину на валке-трелевке или бензопилы на валке, а на трелевке трактор с манипулятором, более эффективны, чем системы машин на базе ВПМ.

С начала 80-х годов XX века в России нарастают объемы сортиментной заготовки леса. Если в 1980 г. объем сортиментной заготовки не превышал 2 %, то в настоящее время он приближается к 10 %, а в Республике Карелия объемы сортиментной заготовки в 2004 году достигли 40 % и имеют перспективы дальнейшего развития.

Опыт показал, что при заготовке и вывозке сортиментов, по сравнению с хлыстовой заготовкой, сокращаются такие трудоемкие операции, как разгрузка, сортировка хлыстов на нижнем складе, уменьшается число технологических и погрузочно-переместительных операций, исключаются встречные перевозки, что способствует повышению производительности труда, снижению себестоимости продукции. Поэтому при отсутствии на предприятии крупных мощностей для переработки леса (лесопильное производство и др.) и наличии в пределах экономической доступности прямой поставки леса автотранспортом крупных потребителей леса (ЦБК, лесопильных предприятий и др.) технология с заготовкой и вывозкой леса в сортиментах имеет серьезные преимущества.

КарНИИЛП (предшественник КарНИИЛПКА) один из первых в СССР на базе трактора МТЗ-80 создал форвардер ЛТ-189 (ЛТ-189А), а затем и более совершенную модель ЛТ-189М. Эти машины изготавливались Петрозаводским РМЗ, а затем Орловским машиностроительным заводом. Было выпущено более 100 таких машин.

ОТЗ разработал форвардер ТЛК-6-04 грузоподъемностью 16 т для сплошных рубок главного пользования и ШЛК-6-04 грузоподъемностью 10 т для рубок главного и промежуточного пользования. Также разработан форвардер ТБ-1М-16 (Онежец 130-01), состоящий из базы трактора ТБ-1М-15 без коника, но с колесным полуприцепом, для сплошных рубок главного пользования.

Минский тракторный завод производит форвардеры МЛ-131 и МЛПТ-364. Их основные характеристики (грузоподъемность, параметры технологического оборудования, габариты, удельная мощность) близки соответствующим характеристикам ШЛК-6-04 и наиболее часто используемых в лесозаготовительных предприятиях России форвардеров фирмы «Тимберджек» ТЈ-1010В.

Форвардеры МЛПТ-364 так же, как ШЛК-6-04 и ТЛК-6-04, имеют гидромеханическую трансмиссию, ТЈ-1010В, как и большинство моделей зарубежных форвардеров, имеют гидростатическую трансмиссию, а МЛ-131 – механическую.

Все типы трансмиссий обладают достоинствами и недостатками. Гидромеханическая и гидростатическая трансмиссии облегчают управление машиной при частых остановках в процессе

работы на лесосеке при наборе пачки сортиментов. Однако при движении машины на значительные расстояния элементы гидростатической трансмиссии перегреваются, и она быстро выходит из строя. Поэтому инструкцией по эксплуатации машин с гидростатической трансмиссией категорически запрещено даже машине без груза передвигаться на расстояние более 2,0–2,5 км. Таким образом, теряются преимущества машин с колесным двигателем в сравнении с гусеничным, в маневренности и скорости передвижения. Форвардеры с механической и гидромеханической трансмиссией не имеют этих ограничений и могут при необходимости доставлять сортименты по усам, находящимся в непроезде для автопоездов состоянии, к веткам и магистралям, что и применяется при необходимости на практике на многих лесозаготовительных предприятиях.

КарНИИЛПКом в ОАО «Олонецлес» проведены сравнительные испытания форвардеров ТЈ-1010В и МЛ-131. Результаты исследований показали, что проходимость, скорость движения, объем воза у МЛ-131 близки к ТЈ-1010В. Более заметны расхождения в удельных затратах времени на штабелевку и сортировку, на разгрузку и набор пачки. У МЛ-131 удельные затраты времени на эти операции больше на 10–15 %, что связано в основном с параметрами и качеством установленного технологического оборудования. Оператор Р. А. Марков, имеющий стаж работы на МЛ-131 14 месяцев, в марте 2005 года за 20 смен стрелевал 1920 м³, достигнув средней сменной производительности 96 м³.

Следует учесть, что стоимость МЛ-131 в 2,5 раза ниже зарубежных аналогов. Технико-экономические показатели работы ШЛК-6-04 могут быть сопоставимы с МЛ-131. Однако ОАО «ОТЗ» недостаточно интенсивно ведет работу над доработкой и внедрением в серийное производство своего форвардера.

В России при заготовке сортиментов на валке, обрезке сучьев и раскряжевке используются либо бензопилы зарубежных фирм (в основном «Хускварна» и «Штиль»), либо харвестеры.

Ввиду того что харвестеры в России до недавнего времени не выпускались, на заготовке сортиментов используют харвестеры зарубежного производства, в основном фирм «Тимберджек», «Валмет», «Понсе». В последнее время начали внедряться харвестеры и форвардеры и других фирм, например «Логман», «Пинокс», «Сампо-Розенлев» и др.

Достаточно интенсивное развитие сортиментной технологии лесозаготовок, износ парка харвестеров и форвардеров требуют постепенной замены и увеличения количества машин в эксплуатации. Препятствие этому – высокая стоимость машин зарубежного производства.

Одним из путей снижения стоимости харвестеров и форвардеров является организация сборки этих машин в России из комплектующих зарубежного производства. В Карелии фирмой

«Харви-Форестер» с применением комплектующих, поставленных финской фирмой «Риноне», освоено выпуск харвестеров и форвардеров «Харви-Форестер». Проведенные КарНИИЛПКом исследования показали, что по производительности эти машины практически не уступают наиболее широко применяемым в России машинам аналогичного назначения и класса, например фирмы «Тимберджек», и в то же время имеют стоимость на 20–25 % ниже.

Более радикальным решением является создание харвестеров и форвардеров на основе отечественных базовых машин, оснащенных зарубежным технологическим оборудованием.

В связи с этим в России и Белоруссии осваивается производство харвестеров на базе колесных тракторов и гусеничных экскаваторов. Ковровский экскаваторный завод на базе экскаватора МЛ-119А выпускает харвестер МЛ-152, снабженный специальным манипулятором и харвестерной головкой «Lako Premio-650». Установка специального манипулятора позволила отказаться от противовеса и обеспечила возможность работы машины в тесненных условиях (например, на волоках) на несплошных рубках.

Минский тракторный завод освоил производство харвестера МЛХ-364 на базе специального лесного трактора 6×6. На машине установлен манипулятор с вылетом 10,1 м, харвестерная головка SP551LF. В зависимости от потребностей заказчика может быть установлено облегченное (для проведения рубок промежуточного пользования) или более мощное оборудование. Харвестер оснащен также электрогидравлическим управлением, контрольно-измерительной системой, выполняющей те же функции, что и у зарубежных харвестеров, МЛ-152 и т. д.

ОТЗ на шасси колесного трактора 4×4 ТЛК-4-01 установил манипулятор CRANAB HPH12, харвестерную головку SP551LF, контрольно-измерительную систему (бортовой компьютер). Машина изготовлена в одном экземпляре и в течение двух лет после изготовления не апробирована в сложных производственных условиях.

ООО «Лестехком» на ВПМ ЛП-19 вместо ЗСУ устанавливает харвестерную головку Lako Premio-650 или 550; машина оснащается контрольно-измерительной системой САМ ЕШ 5 для программной раскряжевки хлыстов и учета заготовленных сортиментов.

При заготовке леса в насаждениях с мелким и средним объемом хлыста (до 0,20–0,21 м³) эффективно применение харвестеров малого класса, например «Сампо-Розенлев», что связано с их относительно низкой стоимостью и достаточно высокой производительностью в этих условиях.

На севере европейской части России применение этих машин имеет хорошие перспективы, особенно в планирующихся целевых хозяйствах в зоне действия целлюлозно-бумажных комбинатов. В этих хозяйствах с целью повышения

объемов заготовки леса, и прежде всего балансовой древесины, планируется снижение возрастов рубки в той части, что предназначена для заготовки балансов до 60–70 лет. В этих условиях харвестеры малого класса имеют неоспоримые преимущества. КарНИИЛПКом проведены хронометражные наблюдения и анализ работы харвестеров малого класса SR-1046. На сплошных рубках при среднем объеме хлыста 0,17 м³ при работе финского оператора производительность на час чистого времени составила 17 м³, у российского оператора, не имеющего достаточного стажа эксплуатации харвестера, производительность в первые 2 недели составила 10,97 м³ на час чистого времени работы при среднем объеме хлыста 0,158 м³.

Следует отметить, что в тяжелых природно-производственных условиях (участки с низкой несущей способностью грунтов, с сильно пересяченным рельефом и т. д.) полностью освоить лесфонд комплексами машин харвестер-форвардер не представляется возможным. Поэтому целесообразно с этих участков производить подтрелевку деревьев тракторами с тросочерным оборудованием до ближайшей площадки с хорошей несущей способностью грунтов. Здесь харвестер, работая в режиме процессора, производит обрезку сучьев, раскряжевку и частично сортировку сортиментов. После этого форвардер производит сортировку, трелевку и штабелевку сортиментов на погрузочной площадке. Производительность харвестера при работе в этом режиме повышается примерно на 20 %, форвардера – на 50–60 %. По данным КарНИИЛПК доля площадей, на которых следует применять эту технологию, составляет в среднем 10–15 %, но в отдельных случаях может быть значительно выше. Чтобы не оставлять недорубов на мастерском участке, на 2 харвестера нужно иметь 1 гусеничный трактор с тросочерным оборудованием, желательно повышенной проходимости, например ТЛТ-100-06.

На сортиментной заготовке могут также использоваться комплексы машин в составе:

1. ВТМ – на валке-трелевке, процессоры – на обрезке сучьев, раскряжевке, форвардеры (любые колесные или гусеничный ТБ-1М-16) – на сортировке и штабелевке сортиментов;
2. бензопилы – на валке, трактор для бесчорерной трелевки с манипулятором (ТБ-1-15М) – на трелевке деревьев, процессор – на обрезке сучьев, раскряжевке, форвардер – на сортировке и штабелевке сортиментов.

Так как производство валочно-трелевочных машин ЛП-17 (ЛП-17А) и сучкорезно-раскряжевочных машин ЛО-120 прекращено, применение этих вариантов технологического процесса ограничено.

Выполнен технико-экономический анализ трех вариантов лесосечных работ:

- с использованием техники Российского и Белорусского производства;

- с использованием техники на базе машин отечественного производства с применением технологического оборудования зарубежного производства;
- с использованием техники зарубежного производства.

Анализ показывает, что из выпускаемых серийно машин достаточно эффективны в применении на валке – бензопилы, на трелевке – либо ТЛТ-100-06, либо ТБ-1М-15, на обрезке – сучьев и раскряжевке – ЛО-120, а на сортировке – штабелевке – сортиментовоз ТБ-1М-16. В этих системах наименьший уровень эксплуатационных и приведенных затрат (соответственно 104,9 руб./м³ и 108,5; 137,3 и 139,04 руб./м³), но сравнительно низкая комплексная выработка на человеко-день (соответственно 14,11 и 18,90 м³).

В настоящее время наиболее широко применяется комплекс машин для сортиментной заготовки, в котором на валке, обрезке сучьев, раскряжевке используются бензопилы, на трелевке сортиментов – форвардеры.

В этих комплексах машин низкая выработка на человеко-день по циклу работ валка деревьев – штабелевка сортиментов, но вполне приемлемый уровень эксплуатационных и приведенных затрат, которые при применении форвардеров белорусского производства изменяются в пределах 120,8–154,0 руб./м³.

Использование на трелевке сортиментов зарубежной техники (например, Тимберджек 1010В), даже при двухсменном режиме работ, приводит к увеличению на этой операции эксплуатационных затрат на 50%, приведенных – на 75%.

В комплексах машин харвестер–форвардер самая высокая выработка на человеко-день, которая, в зависимости от применяемых машин, изменяется в пределах 40,9–35,4 м³. При этом наивысшая производительность по циклу работ валка деревьев – штабелевка сортиментов у комплекса машин ТЛ-1270D + ТЛ-1010В. Однако даже при двухсменной работе приведенные затраты у этого комплекса машин составляют 270 руб./м³, что практически вдвое выше, чем у МЛХ-434 + МЛ-131 или МЛ-152 + ТБ-1М-16. Поэтому целесообразно организовывать работы по сортиментной технологии при наличии достаточного количества рабочих, на валке-раскряжевке использовать бензопилы, на трелевке, сортировке и штабелевке сортиментов – форвардеры, преимущественно МЛ-131 или МЛКТ-369.

В насаждениях с достаточно крупным объемом хлыста при отсутствии необходимого количества валщиков-раскряжевщиков можно использовать в две смены МЛХ-434 на базе специальных лесных тракторов или харвестеры на экскаваторной базе отечественного производства (например, МЛ-152) с технологическим оборудованием и системами управления зарубежного производства.

В насаждениях с мелким объемом хлыста возможно применение легкого харвестера, на-

пример «Сампо-Розенлев» в комплексе с МЛ-131. В связи со сравнительно низкой стоимостью этого харвестера обеспечивается достаточно низкий уровень эксплуатационных расходов при достаточно высокой производительности.

Выводы

1. В последние годы обострилась конкуренция между зарубежными и отечественными производителями лесосечных машин. Для выигрыша в конкурентной борьбе применяются как традиционные ценовые методы, так и не ценовые, основанные на предложении потребителям комплекса сервисных услуг по обеспечению запасными частями, обучению операторов машин и обслуживающего персонала, комплектации учебными пособиями. Однако, проводя агрессивную маркетинговую политику, фирмы не всегда обеспечивают потребителей достоверной информацией о реальных показателях работы машин.
2. В России применяются комплексы техники как для хлыстовой, так и для сортиментной заготовки. При этом в настоящее время объемы хлыстовой заготовки в стране преобладают, но имеются условия и наблюдаются тенденции к существенному наращиванию объемов заготовки леса в сортиментах.
3. Совершенствование машин для заготовки леса в хлыстах за последнее десятилетие замедлилось, уменьшился (как в абсолютном, так и в процентном отношении) выпуск многооперационных лесозаготовительных машин (тракторов для бесчokerной трелевки ТБ-1М-15, прекращен выпуск ВТМ и сучкорезных машин на базе тракторов ОАО «ОТЗ»).
4. Не соответствуют потребностям отрасли объемы производства и маркетинговая политика по реализации отечественных колесных и гусеничных лесосечных машин (ВПМ и скиддеров), что приводит к заполнению этой производственной ниши ВПМ и скидерами зарубежного производства.
5. Для укрепления позиций отечественного лесного машиностроения в России как в стране с колоссальными лесосырьевыми ресурсами необходимо интенсифицировать работы по совершенствованию и модернизации базовых машин и технологического оборудования, восстановить производство сучкорезных и валочно-трелевочных машин, увеличить производство тракторов для бесчokerной трелевки с манипулятором, разработать сучкорезную машину с непрерывным протаскиванием деревьев, не уступающую по производительности прототипу – ЛП-51, и на ее базе – сучкорезно-раскряжевочную машину. Необходимо также ускорить НИОКР по созданию отечественных конкурентоспособных харвестерных головок,
6. ОАО «ОТЗ» следует ускорить доработку и организовать серийный выпуск машин

- для сортиментной заготовки. Несмотря на то что работы по созданию форвардеров и харвестеров ОТЗ начаты раньше, чем Минским тракторным заводом, трактор-сортиментовоз ШЛК-4-01 и харвестер ОТЗ с зарубежным технологическим оборудованием все еще не нашли применения на производстве.
7. На крупных лесозаготовительных предприятиях заготовка леса в сортиментах производится в основном комплексами машин зарубежного производства – харвестер + форвардер и бензопила + форвардер. Машины зарубежного производства обеспечивают высокую производительность, надежны в работе, однако имеют высокую стоимость. Их производители успешно конкурируют на отечественном рынке, обеспечивая комплексное сервисное обслуживание предприятий и подготовку квалифицированных кадров. Подготовка кадров для работы на харвестерах и форвардерах активизировали и отечественные учебные заведения. В Карелии такую подготовку успешно ведет КарНИИЛПК.
 8. Ввиду перспектив увеличения сортиментной заготовки и необходимости замены изношенных машин требуется обновление парка лесосечных машин. Представляется перспективным использование на сортиментной заготовке форвардеров и харвестеров российского и белорусского производства с технологическим оборудованием зарубежных фирм. При этом следует предусмотреть НИОКР по ускоренному освоению импортозамещающего отечественного технологического оборудования. Подобные машины в ближайшей перспективе должны достигнуть производительности, близкой к зарубежным аналогам, а по стоимости быть значительно ниже.
 9. В сложившейся ситуации ликвидировать отставание в создании и совершенствовании машин и технологического оборудования для лесозаготовок невозможно без государственной поддержки научных и конструкторских работ в области лесного машиностроения (инновационные и инвестиционные программы на конкурентной основе, возможно, с совместным финансированием).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шегельман И. Р., Скрыпник В. И., Галактионов О. Н. Техническое оснащение современных лесозаготовок. СПб: ПРОФИ-ИНФОРМ, 2005. 344 с.

УДК 66.047.57

ЮЛИЯ ВЯЧЕСЛАВОВНА ЯНЮК

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии металлов и ремонта лесоинженерного факультета ПетрГУ
yan@petrsu.ru

ВЫБОР И НАСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СУШКИ ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

Статья посвящена вопросам математического моделирования технологического процесса сушки стружки при производстве древесно-стружечных плит, поиска наиболее оптимального алгоритма управления данным процессом по критерию снижения энергетических затрат и ресурсосбережения, а также выбору и настройке управляющих параметров.

Ключевые слова: сушильная установка барабанного типа, влажность стружки, управляющие параметры, задача оптимизации

В условиях современного промышленного производства можно выделить две основные задачи, требующие постоянного внимания: внедрение в технологический процесс нового оборудования и совершенствование работы существующего. Если первая задача требует прежде всего материальных затрат и не всегда является первоочередной для хорошо налаженного производства, то вторая остается неизменно актуальной, особенно если речь идет о поиске эффективных режимов работы оборудования с точки зрения снижения энергетических затрат и экономии ресурсов. При использовании наиболее оптимальных алгоритмов управления различными установками, входящими в технологический процесс производства промышленной продукции, прежде всего, снижается ее себестоимость, а следовательно, повышается конкурентоспособность произведенной продукции на рынке.

Одной из отраслей деревообрабатывающей промышленности является производство древесно-стружечной плиты (ДСтП). Достижение

проектной производительности в этой отрасли возможно только при полной отладке автоматики оборудования и переходе на работу в автоматическом режиме, обеспечивающем правильный технологический процесс производства ДСтП.

С развитием данного производства также развивается и сушка измельченной древесины (стружки) – основного компонента ДСтП. Влажность стружки оказывает решающее влияние на технологический процесс. Поддержание влажности в заданных пределах является главной задачей сушильных установок.

Для целей сушки могут быть использованы сушильные установки барабанного типа (роторные сушилки), являющиеся наилучшими по соотношению цена/качество. Преимущества их по сравнению с шахтными, ромбическими и другими видами сушилок: универсальность; высокое качество сушки за счет интенсивного перемешивания материала; возможность сушить высоковлажный, засоренный материал; исключение спекания материала; простота монтажа (для за-

пуска в работу не требуется капитальных сооружений); надежность работы (исключается образование застойных зон); приемлемая цена.

На рисунке 1 показана сушильная установка, использующаяся в производстве ДСтП на ОАО «Карелия-ДСП» (Медвежьегорский район, Республика Карелия)

Интенсификация режимов работы барабанной сушильной установки (БСУ) и повышение температуры сушки привели к тому, что в качестве агента сушки все чаще используются топочные газы, которые вырабатываются топочными устройствами на жидком или газообразном топливе. Последнее связано с широким использованием систем автоматики, обеспечивающих автоматическое регулирование процесса сушки и безопасность работы оборудования.

В барабанной сушилке влажная стружка подается в сушильный барабан через загрузочный бункер и желоб. Влажная стружка и горячий сушильный агент перемещаются вдоль барабана в одном направлении. Внутри барабан имеет спиральные устройства для перемещения стружки, которые обеспечивают равномерный обдув частиц сушильным агентом. По достижении противоположного конца барабана стружка высыхает до нужной влажности и выгружается. Влажный сушильный агент с мелкими частицами древесины пропускается через циклон, где частицы отделяются.

Оптимизация управления БСУ может быть проведена по различным критериям [1]. Выбор того или иного критерия зависит от конкретных условий проведения производственного процесса. Одним из основных факторов для оптимизации является энерго- и ресурсосбережение. Эффективный алгоритм управления технологическим процессом сушки должен обладать, с одной стороны, высоким быстродействием, а с другой – быть оптимальным с точки зрения снижения энергетических затрат и потребления ресурсов [2].

Основными задачами при усовершенствовании систем управления барабанными сушильными установками являются [2,3]: достижение требуемого значения выходного содержания влаги в материале, несмотря на возмущения входных величин; оптимальное использование энергии при сушке; исключение пересушивания, при котором увеличиваются энергетические затраты и могут возникнуть повреждения в материале; стабилизация процесса сушки в номинальном режиме.

Общая модель процесса сушки БСУ обычно состоит из некоторого набора дифференциальных уравнений в частных производных [3,4,5], описывающих передачу массы и тепла между газообразной и твердой фазами. Такая модель является динамической и достаточно сложной для решения, поэтому она обычно упрощается (линеаризуется вокруг рабочей точки) или решается численно [3,6]. Однако всегда встает

вопрос об адекватности упрощенной модели реальному поведению технического объекта. Эта проблема приводит к необходимости составления такой системы уравнений, которая имела бы аналитическое решение и была бы адекватна реальному процессу [7].

При изучении процессов сушки была выявлена одна общая особенность, характерная для сушки различных материалов и в различных установках. Для любого процесса при построении кривой скорости сушки [4] наблюдается достаточно длительный по времени участок, в котором скорость сушки постоянна, не зависит от времени. Этот стационарный процесс представляет собой собственно сушку, то есть выпаривание влаги из материала. Он зависит от внешних условий и не зависит от внутренних механизмов передачи влаги.



Рис. 1. Сушильная установка барабанного типа

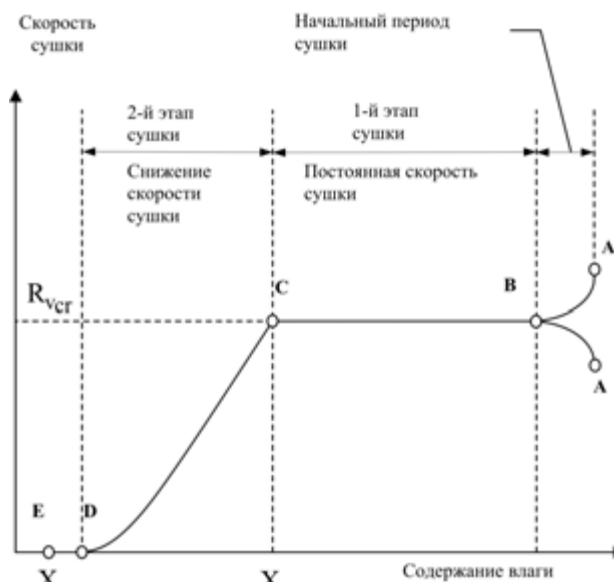


Рис. 2. Типичная кривая скорости сушки

На рисунке 2 представлена типичная кривая скорости сушки [4], на которой показано изменение значения условного коэффициента скорости сушки R_v в зависимости от уменьшения содержания влаги X в материале. В соответствии с рисунком 2 процесс сушки может быть разделен на три части: начальный период сушки, период сушки с постоянной скоростью и период снижения скорости сушки, зависящие от характеристик твердого материала. Кривая А – В иллюстрирует изменение влажности в материале во время начального периода сушки. В течение этого периода температура твердого материала и его влажной поверхности ниже, чем температура сушки, в результате скорость сушки в области А – В будет возрастать до тех пор, пока температура поверхности твердого материала не достигнет температуры, соответствующей линии В – С. Если температура влажного материала выше, чем температура сушки, начальный период будет соответствовать линии А' – В. Начальный период обычно очень короток, и поэтому чаще всего им пренебрегают. Скорость сушки за период В – С постоянна и равна прямому участку В – С кривой влажности. Содержание влаги в точке перехода от периода постоянной скорости к периоду падения скорости называется критическим содержанием влаги X_{cr} . В этой критической точке содержание влаги в материале линейно снижается, и прямая линия становится кривой, которая асимптотически приближается к равновесному содержанию влаги в материале X_{eq} .

Таким образом, принимая во внимание относительно большую продолжительность стационарного процесса скорости сушки, а также используя асимптотический подход к решению общей модели [3,4,5], предлагаем следующую математическую модель процесса сушки [8]:

$$v_m \frac{\partial X}{\partial l} = -R_{v13}; \quad (1)$$

$$v_g \frac{\partial Y}{\partial l} = R_{v24}(G_m / G_g); \quad (2)$$

$$v_m \frac{\partial(C_m T_m)}{\partial l} = \frac{a_v V_v}{G_m} (T_g - T_m) - \lambda R_{v13}; \quad (3)$$

$$v_g \frac{\partial(C_g T_g)}{\partial l} = -\frac{a_v V_v}{G_g} (T_g - T_m) - \lambda_m \frac{G_m}{G_g} R_{v24}. \quad (4)$$

Уравнения системы представляют собой соответственно:

(1) – уравнение материального баланса сушимого вещества; (2) – уравнение материального баланса сушащего воздуха; (3) – уравнение теплового баланса сушимого вещества; (4) – уравнение теплового баланса сушащего воздуха. Используются следующие обозначения: l – независимая переменная интегрирования по длине барабана, м; X – влажность материала, кг

(H_2O)/кг (материала); Y – влажность сушащего газа, кг (H_2O)/кг (материала); T_g – температура сушащего газа, К; T_m – температура материала, К; v_m – скорость материала в осевом направлении, м/с; v_g – скорость сушащего газа в осевом направлении, м/с; C_m – удельная теплоемкость материала, Дж/кг·К; C_g – удельная теплоемкость газа, Дж/кг·К; G_m – линейная плотность материала, кг/м; G_g – линейная плотность газа, кг/м; V_v – удельный объем барабана, м³/м; a_v – удельный коэффициент передачи тепла, Дж/м²·К·с; λ , λ_m – теплота испарения, Дж/кг; R_{v13} , R_{v24} – скорость сушки, 1/с.

Предполагается уточнить значения коэффициентов R_{v13} , R_{v24} , λ и λ_m в правых частях уравнений (1–4), используя [5]. Так называемый условный коэффициент сушки, или скорость сушки R_v , определяется как

$$R_{v13} = -\frac{(X-1)}{g_m} r v_m$$

(для уравнений 1 и 3), где g_m – массовый расход материала, кг/с; r – интенсивность массообмена, %;

$$R_{v24} = \frac{Y-1}{g_g} r v_g,$$

где g_g – массовый расход сушащего воздуха (для уравнений 2 и 4). Кроме того, в уравнении (3) содержится величина теплоты испарения

$$\lambda = -\frac{c_v T_m}{X-1} - T_m \frac{\partial C_m}{\partial X_m} + \frac{C_m T_m}{X-1},$$

где c_v – теплоемкость выделяющегося газа, Дж/кг·К и в уравнении (4) величина

$$\lambda_m = \left(\frac{C_g T_g}{Y-1} - \frac{c_v T_g}{Y-1} - T_g \frac{\partial C_g}{\partial Y} \right).$$

Для повышения эффективности управления, снижения энергетических затрат, то есть оптимизации управления, данные параметры не должны быть константами, что предлагалось ранее [3,4,6] в качестве основных допущений в целях упрощения системы. Как можно более точно настроить БСУ на конкретный режим работы позволяют именно те значения R_v , λ , λ_m , которые получены из приведенных выше зависимостей.

Конструктивные параметры системы (1–4) объединяются в множество Ω [1]:

$$\{v_g, v_m, C_g, C_m, G_g, G_m, a_v, V_v, \lambda, \lambda_m\} \in \Omega.$$

В правых частях всех уравнений содержится так называемый линейный условный коэффициент скорости сушки, который может быть представлен в виде $R_v = k_1 X(l) + k_2 T_m(l) + k_3 T_g(l) + k_4$, где коэффициенты k_1 , k_2 , k_3 , k_4 являются настройчными. Они обеспечивают точную настройку системы (1–4) под свойства сушимого материала, конструкцию установки и внешние условия

сушки на основании соответствия результатов моделирования экспериментальным данным.

Для обеспечения лучшей адекватности модели реальным процессам сушки в БСУ данные параметры должны быть не константами, а функциями от некоторых входных воздействий системы. При подстановке найденных функциональных зависимостей в полученное аналитическое решение системы из решения исключаются коэффициенты k_1 ,

$$C_f = C_g \frac{v_g G_g}{v_m G_m} [T_g(l_0) - T_g(l, \Omega, X(l_0), T_g(l_0), T_m(l_0))], \quad (5)$$

где l_0 – значение независимой переменной, соответствующее входу в барабан.

Управляющие параметры выбираются, исходя из следующих соображений. Для того чтобы иметь на выходе определенное значение содержания влаги, в материале достаточно варьировать температуру и поток (расход) сушащего воздуха. Уменьшать температуру и расход газа, уменьшая тем самым затраты, можно лишь до определенного предела. Критерием в данном случае служит влажность материала на выходе барабана:

$$X(l = L, T_g(l_0), X(l_0), v_g, v_m) \leq X_{cr}, \quad (6)$$

где L – длина барабана, m , X_{cr} – критическая влажность материала на выходе барабана, $kg(H_2O)/kg(\text{материала})$.

$$C_f \langle T_g^*, v_g^*, v_m^* | X(l = L, T_g(l_0)^*, v_g^*, v_m^*) < X_{cr} \rangle = \min_{\{T_g(l_0), v_g, v_m\} \in \Omega_1} C_f \langle T_g, v_g, v_m | X_{out}(l = L, T_g(l_0), v_g, v_m) < X_{cr} \rangle,$$

где $T_g(l_0)^*$, v_g^* , v_m^* – оптимальные параметры управления, сводящие функционал (5) с учетом функционального ограничения (6) к минимуму. Эти параметры находятся при решении задачи минимизации методом скользящего допуска [9].

Эффективность управления при использовании оптимальных управляющих параметров, найденных по данному алгоритму, оценивается при сравнении с несколькими стандартными режимами работы БСУ. В процессе сравнения изменяются только управляющие параметры при прочих равных условиях. При этом снижение

k_2 , k_3 , k_4 и математическая модель процесса сушки оптимальным образом настраивается под конкретную БСУ и сушимый материал.

После идентификации модели (1-4) решается задача оптимизации процесса сушки по критерию снижения энергетических затрат. Целевая функция представляет собой удельные энергетические затраты на передачу тепла от газа одному килограмму материала внутри барабана, $Дж/кг$ [1]:

Кроме того, при снижении скорости подачи материала увеличивается время задержки материала в барабане, что также приводит к более низкому содержанию влаги в материале на выходе. Таким образом, в качестве управляющих параметров выбираются: $T_g(l_0)$ – входная температура сушащего воздуха, $К$; v_g – скорость подачи сушащего воздуха, $м/с$; v_m – скорость подачи материала, $м/с$. На данные параметры накладываются следующие двусторонние ограничения: $T_g^{low} \leq T_g(l_0) \leq T_g^{up}$, $v_g^{low} \leq v_g \leq v_g^{up}$, $v_m^{low} \leq v_m \leq v_m^{up}$. На входную влажность, являющуюся возмущающим воздействием, также накладывается ограничение $X^{low} \leq X(l_0) \leq X^{up}$. Данные неравенства задают область допустимых проектных параметров Ω_1 .

Задача оптимизации ставится следующим образом:

удельных энергетических затрат на передачу тепла в некоторых случаях достигает 20–25%.

Таким образом, повышение эффективности работы БСУ при сушке стружки достигается прежде всего за счет уменьшения энергетических затрат на технологический процесс сушки, ресурсосбережения, а также достаточно высокого быстродействия алгоритма управления за счет использования в системе управления уточненной математической модели, настроенной на конкретный режим работы установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Янчук Ю. В., Питухин Е. А. Об оптимизации управления сушильной установкой барабанного типа // Новые информационные технологии в ЦБП и энергетике. Петрозаводск, 2002. С. 112–114.
2. Янчук Ю. В., Питухин А. В., Питухин Е. А. Оптимальное управление сушильной установкой барабанного типа по критерию снижения энергозатрат на технологический процесс сушки сыпучих материалов // Энергоресурсосбережение и обеспечение экологической безопасности на пром. предприятиях. Тезисы докл. научно-практической конф. Пушкин, 2004. С. 13–17.
3. Yliniemi L. Advanced Control of a Rotary Dryer. Oulu. Oulun Yliopisto 1999. 100 p.
4. Brambilla A., Nardini G., Stabert Z. Dynamic model of rotary dryer // 2nd symposium on the use of computers in chemical engineering. Usti Nad Labem, Tsekkoslovakia. 1973. Vol. II. P. 218–231.
5. Вьюков И. Е., Зорин И. Ф., Петров В. П. Математические модели и управление технологическими процессами целлюлозно-бумажной промышленности. М.: Машиностроение, 1975. 373 с.
6. Balchen Jens G., Kenneth I. Mumme. Process control: Structures and Applications / Van Nostrand Reinhold company, New York, 1988. 540 p.
7. Питухин Е. А. Математическая модель управления качеством работы сушильной установки барабанного типа // Труды ПетрГУ. Серия «Прикладная математика и информатика». Петрозаводск, 1997. Вып. 6. С. 71–76.
8. Янчук Ю. В., Питухин Е. А. Преобразование математической модели процесса сушки для управления сушильной установкой барабанного типа // Труды лесинженерного факультета ПетрГУ. Петрозаводск, 2003. Вып. 4. С. 191–196.
9. Химельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. М.: Мир, 1975.

**В период с 21 по 25 апреля 2008 г.
в Петрозаводском государственном университете
прошла юбилейная 60-ая студенческая
научная конференция**

На 92 секциях 13 факультетов было представлено 879 докладов. В работе конференции приняли участие 3690 студентов, 510 преподавателей, 190 гостей. Авторитетное жюри отобрало лучшие доклады и рекомендовало 407 участников для награждения. Поздравляем победителей и называем **имена студентов, занявших I место и награжденных дипломами I степени:**

Агротехнический факультет

- Стряпчиева Ивана Александровича, 4 курс
- Евланова Никиту Владимировича, 4 курс
- Яковлеву Людмилу Сергеевну, 4 курс
- Авдейкова Тимофея Юрьевича, 3 курс
- Тарасова Евгения Васильевича, 3 курс
- Евтюшкина Сергея Александровича, 3 курс

Лесоинженерный факультет

- Петрова Александра Николаевича, 5 курс
- Бугрову Валентину Андреевну, 4 курс
- Загорского Виталия Андреевича, 4 курс
- Костина Алексея Александровича, 4 курс
- Оринцева Владимира Викторовича, 4 курс
- Будник Павла Владимировича, 5 курс
- Баклагина Вячеслава Николаевича, 5 курс

Математический факультет

- Драц Андрея Владимировича, 3 курс
- Ковалева Владимира Николаевича, 3 курс
- Димитрова Вячеслава Михайловича, 4 курс
- Семенова Игоря Олеговича, 1 курс маг-ры
- Ганенкову Екатерину Геннадьевну, 2 курс маг-ры
- Рогову Ксению Александровну, 5 курс
- Быстрова Максима Юрьевича, 5 курс
- Некрасова Михаила Юрьевича, 5 курс
- Караваева Артема Михайловича, 2 курс маг-ры
- Берникович Елену Сергеевну, 1 курс маг-ры

Медицинский факультет

- Андрияйнен Александру Вальтеровну, 4 курс
- Соболеву Наталью Игоревну, 4 курс
- Родину Алису Сергеевну, 2 курс
- Гусева Александра Валерьевича, 4 курс
- Славинскую Екатерину Станиславовну, 4 курс

- Медведеву Юлию Александровну, 4 курс
- Солодаренко Александру Викторовну, 3 курс
- Носова Александра Юрьевича, 3 курс
- Ракочая Ирину Александровну, 3 курс
- Няшину Викторину Владимировну, 3 курс
- Бучка Олеся Дмитриевну, 5 курс
- Комарову Светлану Валерьевну, 5 курс
- Климову Наталью Валерьевну, 6 курс
- Грибкову Анастасию Андреевну, 6 курс
- Люлю Ирину Викторовну, 6 курс
- Трофимова Степана Владимировича, 6 курс
- Выбач Александру Викторовну, 2 курс
- Выбач Марию Викторовну, 2 курс
- Хитрову Наталью Юрьевну, 5 курс
- Кутовой Виталия Сергеевича, 5 курс

Строительный факультет

- Олюнину Викторину Борисовну, 5 курс
- Гашкова Ивана Ивановича, 5 курс
- Меньшову Анастасию Сергеевну, 1 курс
- Пионтек Константина Константиновича, 4 курс
- Тяпкова Максима Сергеевича, 4 курс
- Поченты Марию Олеговну, 5 курс
- Суровцева Андрея Владимировича, 5 курс
- Шандалович Михаила Элиссановича, 4 курс
- Зобкову Марину Аркадьевну, 1 курс

Физико-технический факультет

- Галова Александра Сергеевича, 2 к. маг-ры
- Куроптева Вадима Андреевича, 2 курс
- Чибисову Анастасию Владимировну, 5 курс
- Малодушева Сергея Викторовича, 2 курс маг-ры
- Даншову Ирину Григорьевну, 4 курс
- Панфилову Ирину Валерьевну, 5 курс
- Подкасик Марию Олеговну, 5 курс

Эколого-биологический факультет

- Полякову Юлию Олеговну, 5 курс
- Ходуева Алексея Викторовича, 4 курс
- Ермолаева Фёдора Владимировича, 4 курс
- Кравчук Ольгу Владимировну, 4 курс
- Подлепину Людмилу Геннадьевну, 4 курс
- Фаворскую Марию Александровну, 5 курс
- Вержбицкую Елену Викторовну, 5 курс

СБОРЫ ПО ПРОГРАММИРОВАНИЮ

25 августа–3 сентября 2008 года
Петрозаводский государственный университет

Цель международных летних сборов – подготовка команд для участия в олимпиадах 2008–2009 учебного года. В программе сборов – тренировочные соревнования, разборы задач, тематические олимпиады по различным разделам олимпиадных задач.

Контактная информация:
Петрозаводский государственный университет. Кафедра ПМиК.

185910 Республика Карелия,
г. Петрозаводск, пр. Ленина 33. Тел.: (8142) 71-10-60
E-mail: azueva@psu.karelia.ru, dpvlasov@gmail.com

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ СЕМИНАР «ОСОБЕННОСТИ РОССИЙСКОГО СТРОИТЕЛЬНОГО РЫНКА»

15–19 сентября 2008 года
Петрозаводский государственный университет

Кафедра архитектуры, строительных конструкций и геотехники строительного факультета Петрозаводского государственного университета проводит научно-практический семинар «Особенности российского строительного рынка». Семинар стал традиционным и проводится регулярно в сентябре один раз в два года. На последнем семинаре в 2006 году присутствовало 37 студентов из Финляндии и 4 финских преподавателя. Лекции о российских объектах промышленного и гражданского строительства, их конструктивном решении и других характеристиках зданий читаются на английском языке (доцент кафедры Б. Н. Ягнюк); об особенностях ведения бизнеса в России выступают финские коллеги. Проводится большая экскурсионная программа с посещением строительных объектов.

Контактная информация:
Петрозаводский государственный университет.
Кафедра архитектуры, строительных конструкций и геотехники.

185910 Республика Карелия,
г. Петрозаводск, пр. Ленина 33. Тел.: (8142) 71-10-37
E-mail: yagnyuk@psu.karelia.ru

**VIII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ
И ЭНЕРГЕТИКЕ»**

**22–26 сентября 2008 года
г. Петрозаводск**

Министерство образования и науки Российской Федерации, Правительство Республики Карелия, ГОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет», ОАО «Архангельский ЦБК», ОАО «Кондопога», ОАО «Сегежский ЦБК», ЗАО «Петрозаводскмаш», Научно-производственная фирма «Ракурс», АО «Metso Automation» (Финляндия) проводят VIII Международную научно-техническую конференцию «Новые информационные технологии в целлюлозно-бумажной промышленности и энергетике»

ТЕМАТИКА ДОКЛАДОВ КОНФЕРЕНЦИИ:

- Интегрированные системы управления предприятиями в ЦБП и энергетике
- Разработка информационных систем, АСУ ТП и средств автоматизации
- Управление и планирование производства в ЦБП и энергетике, разработка систем поддержки принятия управленческих решений
- Проблемы внедрения новых информационных технологий в ЦБП и энергетике

Заявки на участие в конференции
и тезисы необходимо прислать в Оргкомитет.

Оргкомитет конференции:

Петрозаводский государственный университет.
Кафедра прикладной математики и кибернетики.
Оргкомитет МНТК «НИТ в ЦБП и энергетике».

185910 Республика Карелия,
г. Петрозаводск, пр. Ленина 33.
E-mail: nit_cbp@psu.karelia.ru

Телефон: +7 (921) 460-50-86
Факс: (8142) 71-10-00

Контактная информация:

Коржов Сергей Тимофеевич
Телефон: (8142) 71-10-06

Томилина Валентина Алексеевна
Телефон: (8142) 71-10-68,
(8142) 76-97-71 (орготдел)

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. Точка в конце названия статьи не ставится. Сведения об авторе (фамилия, имя, отчество автора (-ов) полностью; ученая степень и звание; место работы: вуз, факультет, кафедра; должность; электронный адрес и (или) 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-х 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. Нумерация – сплошная арабскими цифрами. Список литературы должен быть напечатан через одинарный интервал, на отдельном листе, каждый источник – с новой строки под порядковым номером по мере цитирования, не в алфавитном порядке. В списке

должны быть обязательно приведены: по книгам – фамилия (-ии) автора (-ов) с инициалами, полное название книги, место издания, издательство, год издания, страницы (от и до или количество). 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 с заглавной буквы указывают, на соискание какой степени защищена диссертация и в какой области науки, место издания, год, страницы.

С правилами оформления работ также можно ознакомиться на сайте журнала <http://uchzap.petrsu.ru>

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, .gif и т.п.), 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

P. Medvedev

THE ARCHITECTURE OF KARELIAN PRILADOZHYE AT THE END OF XIX – FIRST THIRD OF XX CENTURIES (Part 1)

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

A. Kosenkov

THE CHAPELS OF KLIMOVSKY KARELIANS

Summary: The article depicts the results of ethnoarchitectural investigation, which connect with typological analyse of traditional wooden chapels of Klimovski Karelian and analog buildings of their Russian neighbors. And also there is a compare of these buildings with chapels of the main territory of Karelian living. Dating of buildings is made with using architectural chronological scale.

Key words: Wooden architecture, folk culture, Karelian, Russian, chapels, local building traditional, chronological ascription 15

A. Rochev

THE ALGORITHM FOR CALCULATING FRAME CONSTRUCTION OF THE CONSTITUENT NON-ELASTIC ELEMENTS

Summary: The algorithm for calculating that allows for the calculation of the deformation and check the stability of the frame of an operating limit of elasticity of the material. Calculation of the frame is carried out with the use of an equivalent module that takes into account the influence of shear deformation. Algorithm calculation takes into account the non-linear geometrical and physical effects arising from the work of elements under load.

Key words: Frame construction, equivalent module of deformation, calculation of deformation, constituent non-elastic element 27

BIOLOGY

A. Artemyev

THE POPULATION ECOLOGY OF THE GREAT TITMOUSE PARUS MAJOR IN TAIGA FOREST OF KARELIABIG

Summary: The population ecology of Great Titmouse 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 titmouse, *Parus major*, taiga forest, density of population, biology of nesting, mechanisms of number regulation 31

A. Borisova, G. Sukhanova, S. Rozhkov, A. Goryunov

THE EFFECTS OF DEHYDROABIETIC ACID ON THERMALLY INDUCED STRUCTURAL TRANSITIONS OF BLOOD CELL MEMBRANES

Summary: Equilibrium thermohemolysis and differential scanning microcalorimetry techniques have been employed to investigate the effect of dehydroabietic acid on human and trout blood cell membranes. Detergent destructurization of the membrane lipid bilayer leading to erythrocyte hemolysis, modification of phospholipid contacts with membrane and cytoskeleton proteins and protein destabilization has been shown to be the mechanism of the effect.

Key words: Erythrocyte, membrane, dehydroabietic acid, thermohemolysis, differential scanning calorimetry 44

I. Kischenko, M. Potapova

SEASONAL GROWTH OF SHOOTS IN SOME INTRODUCED SPECIES OF THE GENUS *ACER* (*ACERACEAE*)

Summary: The research was conducted in the mid-taiga subzone (Southern Karelia). The plants belonging to introduced species were surveyed: *Acer ginnala* Maxim., *A. semenovii* Regel. et Herd., *A. negundo* L., *A. tataricum* L., *A. platanoides* L. и *A. pseudoplatanus* L. We have found in our studies that the growth patterns of shoots and leaves depend on the species biological properties.

Key words: Growth, shoots, genus *Acer*, introduction52

A. Korosov

SYSTEMS AND ECOSYSTEMS

Summary: The notions «law» and «system» doesn't correlate. The law expresses stability of the relationship between natural objects. The system is a method of expedient science thinking, not the part of nature. If we separate these notions, the search for the empirical laws of the nature and their simulation become more efficient.

Key words: System approach, simulating, ecosystem58

V. Moiseeva, E. Moiseeva, M. Kalinkina

THE RESISTANCE OF FISH AND AQUATIC ORGANISMS TO THE SULFAS-CELLULOSE INDUSTRIAL WASTE DUE TO THEIR ECOLOGICAL PECULIARITIES

Summary: The reaction of various species of aquatic organisms to Zinc sulfas-cellulose of industrial waste is observed. It is shown that sewage waters of Segezhsky pulp-and-paper mill caused the loss of aquatic organisms up to dilution in 500-750 times. The most stable immunity to the toxic impact was manifested by benthos. Larvas of Atlantic salmon, vendace, rainbow trout, pike, and daphne have appeared more sensitive to the toxic impact. The difference in reaction of species is caused by their ecological properties, in particular with their ability to resist the deficiency of oxygen in water. The species of aquatic animals, sensitive to the deficiency of oxygen, are less resistant to toxicants of an anthropogenic influence than species, capable to anaerobic exchange.

Key words: aquatic organisms, sewage waters, pulp-and-paper industry, tolerance, ecological properties68

AGRICULTURE AND FORESTRY

E. Kondratyuk

THE DEVELOPMENT OF SMALL FARMS IN AGRICULTURE OF THE REPUBLIC IN KARELIA

Summary: The subject of this paper is small agricultural farms development. The tool in assistance to development of the small forms is the increase, expansion of access to credit resources. The work on simplification of technology, more complete informing is conducted on crediting.

Key words: The priority national project, farms, the bank program, credits, financial students group73

O. Gavrilova, M. Trishkin, A. Sokolov, A. Tsypuk, A. Yur'eva

THE RECONSTRUCTION OF DECIDUOUS FORESTS IN SOUTHERN KARELIA

Summary: The problems of growing pine culture after 10 year of the reconstruction of deciduous forests are discussed. The bareroot seedlings were plant without sole cultivation. The research of other methods of planting resulted in recommending manual plant with holemaker L-2U or plant pipe.

Key words: Reconstruction of forestry, artificial reforestation, Scotch pine, planting, container seedling75

A. Tsarev

THE APPROBATION OF ASSESSMENT METHODS OF POPULATION DIVERSITY IN SCOTS PINE STANDS

Summary: The methods of K. Shannon and L. A. Shivotovsky are investigated for the estimation of population diversity of a Scots pine in an average taiga Pinetum myrtillosum type of forest. It is shown that these methods can be used for the estimation of qualitative and quantitative traits. However, observance of identical gradation of attributes in the latter case is required at their splitting into classes of variation.

Key words: Biodiversity, Scots pine, assessment methods, within species diversity79

M. Trishkin, I. Roenberg, O. Gavrilova, V. Gorbunova

THE INVESTIGATION OF INFECTIOUSNESS OF KARELIAN FORESTS BY *HETEROBASIDION SPP*

Summary: In the article the possible wood losses in forestry caused by *Heterobasidion spp.* and degree of decayed forests of Karelia are covered. These issues have both practical and theoretical significance. The results of the laboratory and field work have showed 6% of infected samples.

Key words: Root rot caused by *Heterobasidion spp.*, final cutting, Scotts pine, Norway spruce, quality of wood's86

ENGINEERING*A. Rodionov***THE MODELING STRESS LOADING OF FORESTRY MACHINES UNDER CONDITIONS OF UNSTAMPED CUTTING AREAS**

Summary: The results of theoretical research of stress loading of the reforestation machine based on the dynamic hole maker in conditions of unstamped cutting areas are shown. Recommendations for optimum designing of this machine are proved.

Key words: Stress loading, modeling, forestry machine91

*I. Shegelman, V. Skrypnik, O. Galaktionov***THE ANALYSIS OF THE STATE AND PROSPECTS FOR IMPLEMENTATION OF MODERN EQUIPMENT AND LOGGING TECHNOLOGY**

Summary: The rational sets logging machines in the face of intensifying competition producers of forest products on the price and inexpensively basis are found. In view of the prospects for wood harvesting and the need to replace machinery, the promising use of the Russian and Belarusian machines are shown. The research on import substitution is recommended.

Key words: Logging technology, the complex machinery, equipment technology, productivity98

*Y. Yanyuk***THE CHOICE AND TUNING PARAMETERS FOR EFFECTIVE CONTROL OF CHIPBOARD SHAVINGS DRYING PROCESS**

Summary: The article covers the issues of mathematic modeling for chipboard shavings drying process and aims at the choice of the optimal control algorithm of this process, the most important criteria being the low power input, and also the choice and tuning of control parameters.

Key words: Drying drum, shaving's moisture, control parameters, problem of optimization105

Scientific information.....109

General information for journal's authors.....112