

---

Федеральное агентство по образованию

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

№ 7 (101). Июнь, 2009

---

**Серия: Естественные и технические науки**

---

Главный редактор

*А. В. Воронин*, доктор технических наук, профессор

Зам. главного редактора

*Н. В. Доршакова*, доктор медицинских наук, профессор

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

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

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

Статьи журнала рецензируются.

Адрес редакции журнала  
185910, Республика Карелия,  
г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33. Каб. 272.  
Тел. (8142) 76-97-11  
E-mail: uchzap@mail.ru

**uchzap.petrso.ru**

## Редакционный совет

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

Редакционная коллегия серии  
«Естественные и технические науки»

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

---

Federal Educational Agency

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

№ 7 (101). June, 2009

---

**Natural & Engineering Sciences**

---

Chief Editor

*Anatoly V. Voronin*, Doctor of Technical Sciences, Professor

Chief Deputy Editor

*Natalia V. Dorshakova*, Doctor of Medical Sciences, Professor

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

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

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

The Editor's Office Address  
185910, Lenin Avenue, 33. Tel. +7 (8142) 769711  
Petrozavodsk, Republic of Karelia  
E-mail: [uchzap@mail.ru](mailto:uchzap@mail.ru)

**[uchzap.petrSU.ru](http://uchzap.petrSU.ru)**

---

 Editorial Council

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

 Editorial Board of the Series  
 «Natural & Engineering Sciences»

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

- Медведев П. П., Гашков И. И.*  
Исследование морфологии субрегиональных систем расселения Российского Севера (к постановке вопроса) .....7
- Графова Е. О., Аюкаев Р. И., Венецианов Е. В.*  
Математическое моделирование в исследовании процессов водоочистки. Сообщение 2. «Сухое» фильтрование .....18
- Селютин Л. Ф., Корнилов В. В.*  
Исследования дощатых ферм с податливыми соединениями .....26

### БИОЛОГИЯ

- Горбач В. В., Резниченко Е. С.*  
Видовой состав и распространение дневных бабочек (Lepidoptera, Diurna) в Юго-Восточной Фенноскандии .....31
- Коросов А. В.*  
Принцип целесообразности и моделирование биосистем .....40

### ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

- Гаврилова О. И., Хлюстов В. К.*  
Рост культур ели европейской в Южной Карелии .....47
- Раевский Б. В.*  
Некоторые результаты интродукционных испытаний сосны скрученной в Южной Карелии .....51
- Ряхин В. А., Синькевич С. М.*  
Использование компьютерной техники при решении лесотаксационных задач в учебном процессе .....60

### МАТЕМАТИКА И ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

- Заика Ю. В., Костикова Е. К.*  
Разностная схема для краевой задачи ТДС-дегазации с динамическими граничными условиями .....65
- Богданова М. В.*  
Исследование базовой стохастической транспортной задачи .....71

### МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

- Ваята Н. П.*  
Лечение радиоактивным йодом доброкачественных заболеваний щитовидной железы, протекающих с синдромом тиреотоксикоза ..... 74
- Марусенко И. М.*  
Опыт применения лефлуномида при ревматоидном артрите ..... 78
- Рябков В. А., Везикова Н. Н., Барышева О. Ю., Волкова Т. О.*  
Влияние базисной терапии ревматоидного артрита на активность апоптоза периферических лимфоцитов ..... 83

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Галактионов О. Н., Кузнецов А. В., Пискунов М. А.*  
Характеристики настила из лесосечных отходов и состояние грунта на трелевочном волокне ..... 90
- Кондратьев Ю. Н.*  
Решение оптимизационных задач в среде Excel-7.0 ..... 96
- Кульбицкий А. В., Васильев С. Б.*  
Влияние на стратификацию щепы толщины сортируемого слоя и угла наклона сит ..... 98

### ФИЗИКА

- Пергамент А. Л., Казакова Е. Л., Артюхин Д. В., Ольшанников Д. И., Савченко М. В.*  
Физические основы разработки датчиков на основе эффекта переключения в диоксиде ванадия ..... 101

### РЕЦЕНЗИИ

- Моцеев П. Е.*  
*Рец. на кн.: Шегельман И. Р. «Лесная промышленность и лесное хозяйство»: Словарь .... 106*

- Научная информация** ..... 108
- Юбилей**  
К 65-летию А. М. Цыпука ..... 111
- Информация для авторов** ..... 112
- Contents**..... 113

Учредитель: ГОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет»

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

Подписано в печать 22.06.2009. Формат 60x90 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.  
10 уч.-изд. л. Тираж 500 экз. Изд. № 169.

Индекс 66093. Цена свободная.  
Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ТУ 10 – 00059  
от 25 мая 2009 г. выд. Управлением Россвязькомнадзора по Республике Карелия.

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

УДК 72.03(470):691.11

**ПАВЕЛ ПЕТРОВИЧ МЕДВЕДЕВ**

кандидат архитектуры, доцент, заведующий кафедрой систем автоматизированного проектирования строительного факультета ПетрГУ  
*pmedvedev@psu.karelia.ru*

**ИВАН ИВАНОВИЧ ГАШКОВ**

аспирант КарНЦ РАН, инженер ООО «Галана»  
*doctor-gas@mail.ru*

**ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ СУБРЕГИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ  
РАССЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОГО СЕВЕРА (К ПОСТАНОВКЕ ВОПРОСА)**

Статья посвящена исследованию морфологии (структуры и формы с сопутствующими архитектурно-типологическими характеристиками) ряда субрегиональных (в историко-архитектурном аспекте) систем расселения Российского Севера, рассматриваемых в качестве специфических территориально-пространственных образований в комплексе традиционных архитектурно-пространственных систем и объектов народного зодчества на территории Северо-Запада Российской Федерации, сформировавшихся под влиянием сложного комплекса специфических природно-климатических, социально-экономических, исторических и этнокультурных факторов.

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

За период 1979–2006 годов с участием, а затем и под руководством П. П. Медведева на территории Северо-Запада Российской Федерации было проведено более 17 историко-архитектурных экспедиций, благодаря которым в орбиту исследований оказались вовлеченными многие районы Республики Карелии, Мурманской, Архангельской, Вологодской, Ленинградской и Новгородской областей, на территории которых в итоге было обследовано более 500 традиционных сельских поселений и около 25000 крестьянских жилищно-хозяйственных построек и сооружений [14; 17], [48], [49], [50].

Вместе с тем нельзя не отметить, что за два последних десятилетия в области изучения историко-архитектурного наследия Российского Севера наметилась вполне закономерная с точки зрения системного подхода тенденция к активному включению в сферу исследований наряду с традиционными объектами (поселениями и по-

стройками) более сложных структурно-пространственных образований – систем расселения различного иерархического уровня (в терминологии районных планировщиков – демозкоцистем) [22], [23], [24], [25].

По отношению к системе расселения, сложившейся в границах Северо-Западного региона Российской Федерации (региональная система расселения – РСР), в качестве ее структурных частей выступают отдельные субрегиональные системы расселения (СубСР) – специфические территориально-пространственные образования, в основе выделения которых могут лежать различные принципы. К числу последних, в частности, относится принцип комплексного историко-географического (природно-климатического, геологического, гидрографического, ландшафтно-топографического и т. п.), политико-экономического (социально-экономического, административно-территориального и т. п.), этнокультурного и архи-

тектурно-строительного зонирования исследуемых территорий, позволяющий дифференцировать территорию Северо-Западного региона России на отдельные историко-архитектурные субрегионы с точки зрения особенностей архитектурно-строительной деятельности проживающего в его границах населения [14; 17–42], [22].

Примером подобного историко-архитектурного субрегиона, локальное исследование системы расселения которого было выполнено ранее одним из авторов данной статьи и детально освещено в предшествующих публикациях, может служить Архангельское Поонежье, территориально охватывающее земли бассейна реки Онеги, расположенной в западной части Архангельской области и ее границы с Республикой Карелия (рис. 1) [24]. Территория Поонежья была обследована историко-архитектурными экспедициями в 1986–1987 годах вслед за территориями Мурманского, Карельского и Архангельского Поморий, включающими в себя земли прибалтийских районов Мурманской (Терский и Кандалакшский районы) и Архангельской (Онежский, Приморский и Мезенский районы) областей, а также Республики Карелия (Лоухский, Кемский и Беломорский районы) и обследованными при участии и под руководством одного из авторов данной статьи еще в период 1979–1985 годов [19], [20], [22], [26], [46; 168], [48].



Рис. 1. Картограмма задействованных в исследовании историко-архитектурных субрегионов Российского Севера за период 1979–2006 годов с участием, а затем и под руководством П. П. Медведева (1 – Мурманское Поморье, 2 – Карельское Поморье, 3 – Архангельское Поморье, 4 – Архангельское Поонежье, 5 – Карельское Приладожье, 6 – Восточное Обонежье, 7 – Архангельское Примощье, 8 – Архангельское Поважье)

Далее в течение 1988–1991 годов в орбиту исследований были вовлечены расположенные к юго-востоку от Архангельского Поонежья историко-архитектурные субрегионы Архангельского Примощья и Поважья, а за период 1981–2006 годов к ним добавились еще две специфические историко-архитектурные провинции, расположенные уже в границах Республики Карелии. Это территории Восточного Обонежья и Карельского Приладожья (рис. 1) [14], [23], [27], [29], [30], [37; 177], [39; 217], [46; 168–169], [48], [49], [50].

В итоге проведенных полевых исследований появляется возможность выполнить сравнительный анализ структур и форм уже не пары (как это было ранее), а сразу серии субрегиональных систем расселения, планируя получение макетного (пока еще фрагментарного и, естественно, предварительного) широтного среза территории Российского Севера на уровне морфологии субрегиональных демозкоосистем.

Итак, в полосе исследуемого широтного среза, лежащей в пределах 61–63 градусов северной широты и простирающейся от границы Республики Карелии с Финляндией (30 градусов восточной долготы) до Северной Двины (46 градусов восточной долготы), в роли самого восточного субрегиона выступает специфический историко-архитектурный субрегион Поважья, расположенный на юге Архангельской области и охватывающий Вельский район и смежные с ним территории Коношского, Шенкурского и Устьянского районов (рис. 1 и 2) [14; 18–21], [25], [51]. Входя в состав Северного экономического региона, территория Архангельского Поважья, некогда именовавшаяся «Важским краем», представляет собой западную часть Ваго-Вычегодского географического района и занимает «буферное» положение между Озерным Прионежьем (Каргопольем и Архангельским Поонежьем) и землями Двинско-Мезенского водораздела (Центральным Подвиньем и Пинежьем).

Важская низменность, в пределах которой находится Поважье, резко обрывается в долинах реки Ваги и ее притоков Вели, Кокшенги, Устья, Пуи, Суланды, Поденги и Леди [35; 27]. Расположенная в пределах 61–63 градусов северной широты и 41–46 градусов восточной долготы, территория края находится под переменным воздействием арктического воздуха и воздуха умеренных широт, что определяет изменчивость погодных условий. Средняя температура января на поважской территории составляет  $-13$ , а июля  $+16$  градусов при относительной влажности воздуха в диапазоне от 70 до 95 %. Годовая сумма осадков в Поважье колеблется в пределах от 450 до 500 мм, а мощность снегового покрова зимой достигает 60–70 см [16; 11–13, 153–155], [34; 102].

По растительности Важский край целиком входит в природную зону тайги и, имея довольно благоприятные почвенно-климатические условия, достаточно освоен в сельскохозяйствен-

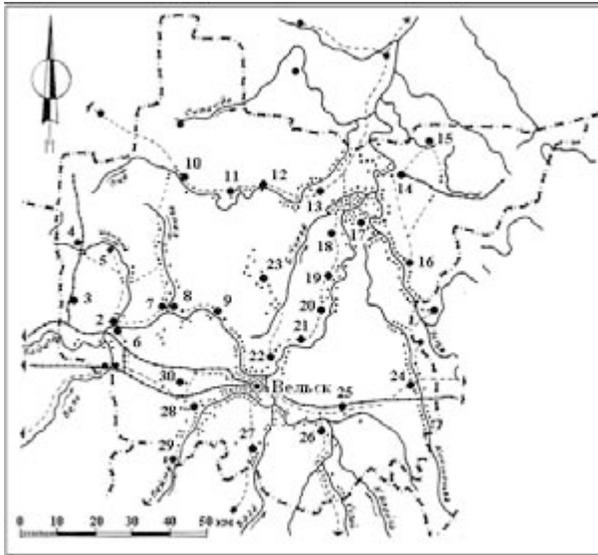


Рис. 2. Картограмма системы расселения Поважья XIX–XX веков (1 – пос. Солгинский, 2 – пос. Усть-Шоноша, 4 – пос. Средний, 3 – пос. Комсомольский, 5 – пос. Тулма, 6 – пос. Солга, 7 – пос. Исполиновка, 8 – пос. Хозьмино, 9 – пос. Шунема, 10 – с. Георгиевское, 11 – д. Малая Липовка, 12 – с. Павловское, 13 – с. Долматово, 14 – пос. Пасьва, 15 – пос. Саргино, 16 – пос. Боровое, 17 – с. Благовещенское, 18 – пос. Шоноша, 19 – пос. Погост, 20 – д. Пайтовская, 21 – пос. Пустыньга, 21 – д. Горка Муравьевская, 22 – д. Ефремковская, 24 – д. Козловская, 25 – пос. Кулой, 26 – дер. Мелеховская, 27 – д. Теребино, 28 – с. Пежма, 29 – пос. Палово, 30 – пос. Синега)

ном отношении. На приречных землях сконцентрировано большое количество населенных пунктов, а лесные площади превращены в пашни. Благодаря наличию относительно развитой речной системы в районе много заливных лугов, выгонов, пастбищ и угодий, пригодных для разведения крупного и мелкого рогатого скота [16], [34; 51].

Вместе с тем до Октябрьской революции 1917 года развитие земледелия и промыслов на большей части поважской территории было ограничено правительственными указами, фискально поддерживавшими традиционное общинное землевладение, а рост городов оставался очень слабым. Так, расположенные в границах Поважья Вельск и Шенкурск, ставшие городами еще в XVIII веке, к 1917 году насчитывали менее чем по 3 тысячи жителей [16; 155], [47]. И только в XIX – начале XX века в крае началось оживление хозяйственной деятельности, связанное с ростом спроса на северный лес. Но и оно очень быстро сошло на нет в силу очередного социально-политического катаклизма [16].

Наряду со специфическими природно-географическими условиями важские земли славятся своей многовековой историей. Согласно многочисленным исследованиям археологов и историков, аборигенами этих земель в далеком прошлом были протосаамские, а затем финно-угорские и пермские племена, известные в летописных источниках под именем «чудь заволочская» [13].

В летописных источниках содержится только одно упоминание о дорусском населении Заволочья, включенное в этнографическое введение Начальной русской летописи при перечислении «всех язычей Афетовой части»: «...мера, мурма, весь, морьдва, заволочская чюдь, пермь, печера, ямь, угра...» Эта вставка была сделана около 1113 года при составлении первой редакции свода, причем сведения историко-этнографического характера предположительно восходят к более раннему источнику [42], [22].

Чудь обитала «за Волоком» – в землях, располагавшихся на путях славянского освоения Российского Севера. В современных разработках археологов и историков достаточно убедительно обосновано положение о локализации Заволочья в западной (левобережной) части бассейна Северной Двины, причем для XI–XIII веков установлена связь этого историко-географического термина с областью по течению Ваги, а для XIV–XV веков – с Поважьем и нижним Подвиньем [13], [31], [41], [42].

Со временем чудские племена были частично вытеснены и ассимилированы новгородскими переселенцами в период X–XIV веков [6], [15; 1–2], [31], [34; 1–2], [41]. Причем уже в начале XIV века в Шенкурской округе имелась целая «Борейская волость», принадлежавшая знаменитой новгородской посаднице Марфе Борейской. А из исторических источников известно, что в Поважье были и еще более крупные землевладельцы – бояре Своеземцевы, которым, согласно грамоте 1315 года, чудские старосты Азик, Ровда, Караганец и Игнатец поступились «всею Вагой» за 20 тыс. белок и 10 рублей [6], [8; 21].

Но не только новгородцы проявляли интерес к Важскому краю. Сюда наперерез новгородским потокам в XIV–XV веках шла «низовая» («Ростово-Суздальская») колонизация. В это время Важский край составлял часть Заонежской половины Обонежской пятины под названием Важской десятины, которая делилась на волости или погосты, «тянувшие» к Шенкурскому или Великоважскому посадам [6].

Являясь богатой новгородской колонией, важская земля уже с конца XIV века не раз становилась причиной раздора между Новгородом и Москвой, окончательно признав власть последней в 1462 году (в ряде источников – 1478 год) [8; 23], [11; 3]. Именуясь в это время то «Важской землей», то «Важским уездом» или просто «Вагой», в административном отношении в «московский» период истории край делился на две половины: Шенкурскую и Вельскую. В состав первой входили Подвинский, Шенкурский, Паденский, Ровдинский и Лецкий (Ледский) станы, тогда как ко второй относились Слободской, Вельский, Верховажский, Кокшеньгский и Шелотский станы. В итоге, подойдя к рубежу XIX–XX веков, Поважье оказалось административно разделенным между Вельским уездом Вологодской губернии и Шенкурским

уездом Архангельской губернии и только после Октябрьской революции 1917 года вернулось к своему изначальному состоянию как единое целое в границах современной Архангельской области (за исключением небольшого участка территории в окрестностях Верховажского посада).

С целью инвентаризации памятников истории и культуры Архангельской области в 1988–1989 годах по территории Поважья была проведена комплексная экспедиция, которая обследовала 211 традиционных сельских поселений и 35 групповых систем населенных мест. В это время один из авторов данной статьи являлся научным руководителем и начальником экспедиционного отряда [14], [38; 171], [37; 177], [51].

Собранные натурные материалы в сочетании со сведениями из архивных и литературных источников позволяют рассматривать территорию Важского края в качестве специфического субрегиона Российского Севера, в истории заселения которого выделяются два класса последовательно сменивших друг друга расселенческих образований – с сельским (К1) и смешанным (сельско-городским – К2) населением [14], [22], [26], [51]. Правда, вторая система сформировалась здесь значительно позже, чем, к примеру, в Беломорском Поморье и в Архангельском Поонежье (Шенкурск получил статус города в 1627 году, а Вельск – в 1780 году [31; 102], [32]), но независимо от этого оставалась преимущественно сельской (К2/1) вплоть до начала XX века, судя по показателю численности городского населения Вельского уезда, в 1833 году составившего 7,60 % [14; 20]; [35; 63, табл.; 51].

Общую картину степени освоенности Важского края позволяет дополнить показатель плотности расселения, с учетом которого Поважскую субрегиональную систему расселения можно отнести к подварианту средненаселенных систем типа К2/1(2)(01.3) (плотность населения Вельского уезда на 1833 год составляла 3,37 чел./кв. версту [35; 63, табл.; 51]) с достаточно равномерным распределением населения при одновременной его концентрации в крупных центрах: Верховажском Посаде (ныне территория Вологодской области), Вельске и селе Благовещенском, что определялось, с одной стороны, спецификой хозяйственного освоения территории (преимущественная ориентация населения на хлебопашество и скотоводство), а с другой – физико-географическими условиями края (вследствие концентрации основной массы сельскохозяйственных угодий в речных поймах) [16; 11–13], [35; 10–13].

Развивая далее характеристику поважской демоэкологии, можно сказать, что аналогично многим другим субрегионам Российского Севера в Важском крае за период с XI по XX век произошла последовательная смена расселенческих образований двух подклассов – переход от системы «погостного» расселения, состоявшего из «погосто-мест» и малодворных селений (ПК1), к

системе расселения крупными селами, посадами и многодворными деревнями (ПК2) [51]. При этом надо особо отметить, что промежуточным этапом в этом процессе была «комбинированная» система расселения (ПК3[ПК1+ПК2]), о чем говорит факт одновременного сосуществования в крае в конце XVIII века таких социально-экономических типов поселений, как погост, посад и разnodворные деревни, зафиксированных на карте Вельского Посада 1773 года [1].

С учетом специфики хозяйственного использования территории поважскую демоэкологическую систему можно отнести к группе с преимущественно земледельческо-животноводческо-промышленной специализацией (Г8) с ее территориально-пространственной дифференциацией на две зоны [35; 10–13, 27]. В западной части края преобладает животноводческо-земледельческая специализация, что определяется благоприятными физико-географическими условиями. В свою очередь, восточная часть Важского края значительно беднее пастбищами и покосами и характеризуется слабо развитым скотоводством, а потому может быть отнесена к зоне с промысловоземледельческой специализацией. Однако упомянутыми выше видами не исчерпывается довольно широкий спектр хозяйственной деятельности важан. Из промыслов, некогда имевших широкое распространение в крестьянских хозяйствах всего Поважья, следует упомянуть смолокурение, рыболовство, а в западных лесных уездах – звериный промысел [34; 51–77], [35; 10–13, 27].

Специфика природно-климатических условий в сочетании с характером освоения территории Важского края способствовала образованию в ее границах плотнопоселенной расселенческой системы (Т3) с дисперсно-концентрированным распределением населенных пунктов (Т3/3) смешанного подварианта (Т3/3(3)) – с сочетанием групповых систем населенных мест (ГСНМ) или поселенческих кластеров и единичных автономных населенных пунктов (ЕАНП). Так, к началу XX века на одно поселение Вельского уезда приходилось в три раза меньше площади, чем в Онежском и в пять раз меньше, чем в Архангельском уездах Архангельской губернии (ср.: [16; 105], [40]).

В свою очередь, по рисунку поселенческой ткани поважскую демоэкологическую систему можно отнести к подтипу смешанных расселенческих образований (ПТ4), поскольку она, помимо явно преобладающих «полосовых» (ПТ1) межгрупповых систем расселения (к примеру, таких, как Ракуло-Кокшеньгская, Низовская или Устьянская), включает одну «ковровую» (ПТ3) (Пакшеньгская) и несколько «ядерных» (ПТ2) ГСНМ (например, Пежемская и Благовещенская) – в отличие, к примеру, от Архангельско-Поонежской расселенческой системы с практически чисто полосовым рисунком поселенческой ткани (рис. 3) [24; 72], [51]. Наблюдаемые отличия, очевидно, обуслов-

лены, в первую очередь, ландшафтно-топографическими условиями (в Поважье – достаточно разветвленная сеть средних по величине рек с многочисленными более мелкими притоками, а в Архангельском Поонежье – фактически одна достаточно крупная река, по обеим сторонам которой расположены сильно заболоченные территории). Также можно предположить, что они связаны со спецификой хозяйственного использования земель (с преобладанием на Ваге земледелия, а на Онеге – скотоводства) [24], [25].

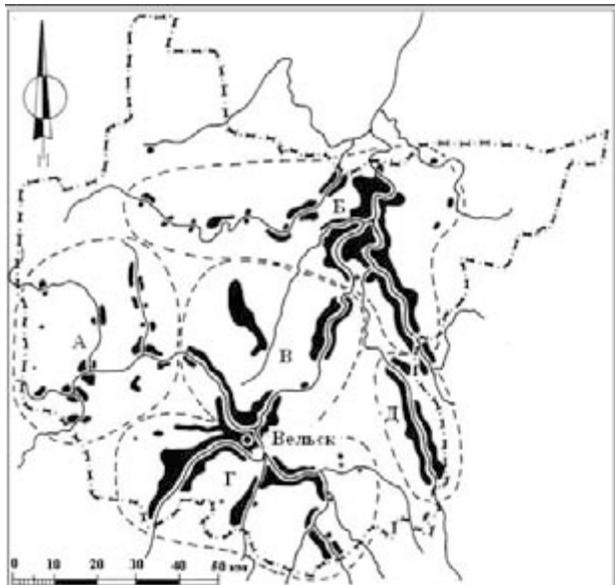


Рис. 3. Картограмма заселения территории Поважья XIX–XX веков с рисунком поселенческой ткани (А – западная часть, Б – северо-восточная часть, В – центральная часть, Г – южная часть, Д – юго-восточная часть)

Наконец, по взаимосвязи с природным ландшафтом поважская субрегиональная расселенческая система может быть отнесена к разновидности смешанных (РЗ), преимущественно приводоенных расселенческих образований, с рисунком поселенческой ткани, практически полностью отвечающим рисунку ландшафта (РЗ/1), что сближает этот край, к примеру, с территориями Мурманского, Карельского и Архангельского Поморий [22; 18]. Правда, в качестве исключения из общего правила могут быть названы Пакшеньгская ГСНМ, которая является чисто водораздельной, и отдельные фрагменты некоторых групповых систем в междуречье Ваги и Кокшеньги (ныне территория Благовещенской сельской администрации Вельского района) [51]. К сказанному остается только добавить, что рисунок поселенческой ткани поважской демозко-системы в большинстве случаев активно взаимодействует с природным ландшафтом, тем самым существенно усиливая его композиционные качества (РЗ/1(1)).

Вторым по счету в исследуемом широтном срезе может быть рассмотрен историко-архитектурный субрегион Архангельского Приморья, расположенный в юго-западной части Архангельской области (Няндомский район) и занимающий пограничное положение между ранее детально исследованными территориями Поважья, Архангельского Поонежья и Каргополя (рис. 1, 4, 5, 6). Историко-архитектурными экспедициями ПетрГУ под руководством П. П. Медведева этот субрегион был обследован в 1989–1992 годах, благодаря чему в орбиту исследований было вовлечено 29 традиционных сельских поселений и 136 крестьянских жилищно-хозяйственных построек [21], [28], [39; 217], [50].

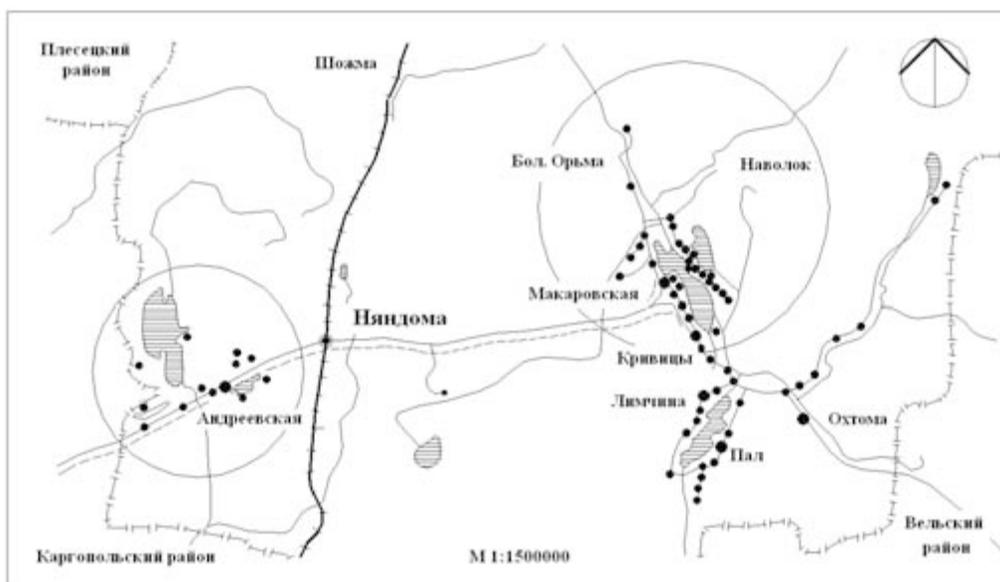


Рис. 4. Картограмма системы расселения Архангельского Приморья XIX–XX веков

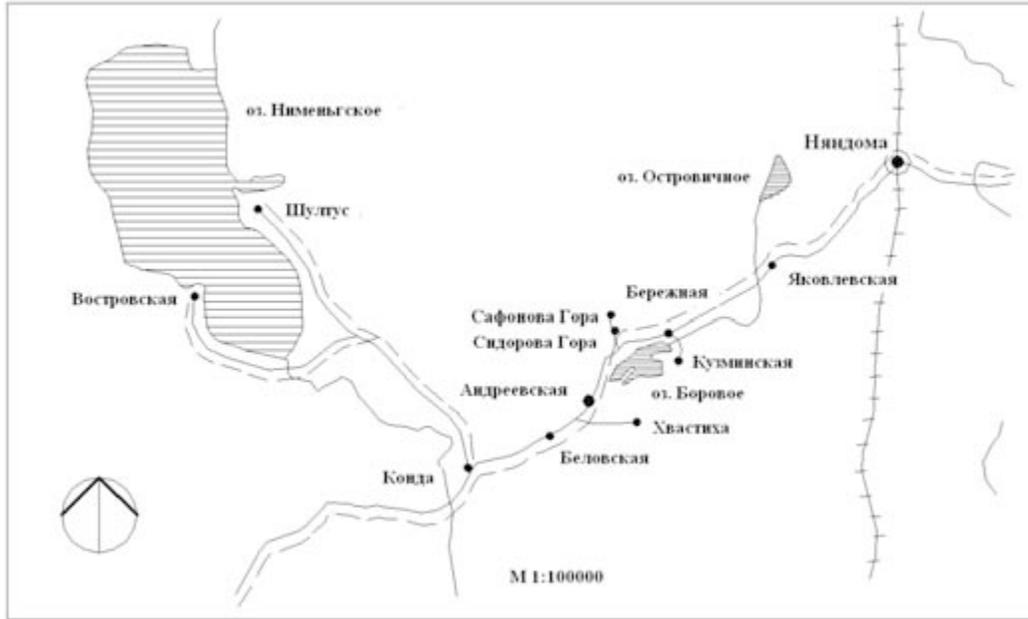


Рис. 5. Картограмма системы расселения западной части Архангельского Приморья XIX–XX веков

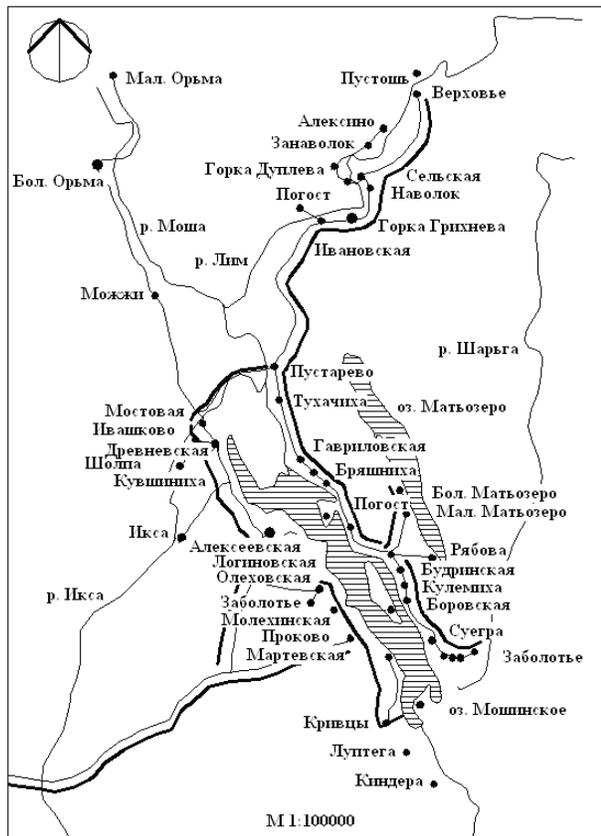


Рис. 6. Картограмма системы расселения восточной части Архангельского Приморья XIX–XX веков

Анализ собранных натуральных материалов, как и в случае с вышерассмотренным Поважьем, позволяет говорить о наличии в архитектуре Приморья как общих черт, характерных для все-

го деревянного зодчества Российского Севера, так и специфических особенностей и в итоге рассматривать обследованную территорию в качестве особой историко-архитектурной зоны [14; 21–22], [28], [50].

Так, судя по сведениям, полученным из архивных и литературных источников, архитектурно-строительная деятельность жителей Приморья протекала под воздействием сложного комплекса своеобразных факторов: природно-топографических (холмисто-равнинный рельеф с развитой озерно-речной системой), исторических (до 1917 года Приморье – самая восточная окраина Олонецкой губернии), социально-экономических (территориальная локализация от экономически развитых центров – Каргополя на Санкт-Петербургском и Вельска на Московском торговых трактах) и этнокультурных (ареал проживания летописной «чуди заволоцкой» и контактная зона новгородского и верхневолжского колонизационных потоков русских переселенцев в XV веке) [5], [14; 21].

Натурные и архивно-литературные материалы также свидетельствуют о том, что, во-первых, сформировавшаяся на территории Приморья субрегиональная система расселения до 1930-х годов являлась сельской. Основой для нынешнего районного центра послужил железнодорожный поселок Няндома, появившийся в связи со строительством Северной железной дороги и преобразованный в город в 1939 году. Этим свойством приморская СубСР существенно отличается от ее сопредельных равноуровневых «сестер» – субрегиональных систем расселения Каргополя, Онеги и Поважья, планировочными ядрами которых являются относительно древние городские поселения [5], [34], [35], [40; 143], [47]. Вторая

особенность примошской демоэкосистемы – гармоничное сочетание приозерного и приречного типов заселения, вследствие чего территория Примошья более схожа с Каргопольем, чем с Онежским бассейном и Поважьем. Третья особенность – примошская система расселения более архаична по характеру социально-экономической организации поселенческой ткани, чем сопредельные системы. Здесь в более чистом виде и в значительно большей сохранности прослеживается «погостная» структура с «погостоместами» и малодворными деревнями, генетически восходящая к периоду новгородско-верхневолжской колонизации примошских земель. Четвертая особенность субрегиональной системы расселения Архангельского Примошья заключается в том, что в ее структуре почти полностью отсутствуют автономные (территориально обособленные) поселения, характерные, к примеру, для прибалтийских территорий [22], [28]. Практически все обследованные населенные пункты в границах Примошья оказались организованными в поселенческие кластеры (групповые системы населенных мест) с достаточно архаичными приемами акцентировки архитектурными доминантами (периферийно-акцентированные кластеры с акцентами, расположенными вне пятна ГСНМ и на осях структурообразующих элементов) и со сложной, многоступенчатой иерархией этих доминант. В качестве примеров здесь могут быть упомянуты двухуровневый Лимский или трехуровневый Мошенской межпоселенческие кластеры [21].

Наконец, при обследовании единичных населенных пунктов из пяти известных на Русском Севере вариантов объемно-планировочных структур сельских поселений [36; 35–41] на территории Архангельского Примошья в процессе полевых работ было зафиксировано только четыре: свободная, рядовая (в вариантах прибрежно-рядовой и рядовой с ориентацией «на лето»), уличная и комбинированная. Отсутствие в Примошье поселений с замкнутыми планировками отличает этот историко-архитектурный субрегион от территории сопредельных Вельского и Шенкурского районов (Поважье) и земель Онежского бассейна (Архангельское Поонежье) [14], [21], [24], [25], [50].

Обобщая результаты анализа примошской СубСР, можно констатировать, что собранные историко-архитектурными экспедициями 1989–1992 годов натурные материалы и результаты их разведочного анализа убедительно свидетельствуют о специфике историко-архитектурного наследия на территории Примошья, сформировавшегося под влиянием сложного комплекса специфических природно-климатических, историко-политических, социально-экономических и этнокультурных факторов [50].

Третьим в цепи рассматриваемых субрегионов выступает уже неоднократно упоминавшийся ранее историко-архитектурный субрегион

Архангельского Поонежья, контактирующий на юго-востоке с Примошьем, вытянутый широкой полосой вдоль реки Онеги и территориально охватывающий земли Плесецкого и Онежского районов Архангельской области (рис. 1) [24].

Композиционно-планировочной осью архангельско-поонежской территории служит Онега – четвертая по величине река Архангельской области, расположенная в ее западной части и несущая свои воды с юга на север вдоль границы с Республикой Карелия. Вытекая из озера Лача вблизи города Каргополя и впадая в Онежскую губу Белого моря около города Онеги, река на протяжении своих 411 километров пересекает территории трех районов и 14 сельских администраций [24; 68, рис. 1].

Из истории Российского Севера хорошо известно, что уже в XI–XII веках Онега являлась одним из четырех наиболее оживленных путей движения новгородских переселенцев, активно осваивавших прибалтийские территории, а появление на ней первых «ватаг ушкуйников» относится некоторыми исследователями даже к VIII–X векам. Примечателен этот субрегион и тем, что здесь, в так называемом «Заволочье», до прихода славян проживали финно-угорские племена, обладавшие своеобразной культурой, восходящей к эпохе неолита, но исчезнувшие практически бесследно в процессе ассимиляции [12], [13], [31], [41].

Из исторических источников также известно, что до середины XVI века предприимчивые новгородцы попадали на реку Онегу с Онежского озера, двигаясь по рекам Водле, Череве, Волошеве, Поче с выходом на Кенозеро и реку Кену. И только к XVII веку Онега оказалась задействованной полностью от истоков до устья, поскольку после присоединения северных земель к Москве исходный участок торгового пути сместился к юго-востоку, захватив Белое озеро, реки Ухтому, Модлону, Свирь и озеро Лача [5; 15, картосхема], [10; 57–58], [45; 13–16, рис. 1].

В это же время наблюдается затухание миграционных процессов. Приток нового населения на территорию Онежского бассейна иссякает, что способствует стабилизации границ административно-территориального деления. Судя по данным писцовых и переписных книг, в период XVII – начала XVIII века исследуемая территория входила в состав Каргопольского уезда северных земель Русского государства и делилась между двумя его станами – Каргопольским (южным) и Турчасовским (северным) [4; 14], [10; 62, 64, 70, табл. 5].

Однако административно-территориальное единство архангельско-поонежских земель было недолгим. В 1708 году, после проведения в России губернской реформы, территория Турчасовского стана вошла в состав Архангельской губернии, а в 1765 году из нее был образован Онежский уезд, который просуществовал без изменений вплоть до начала XX века [40; 143].

В свою очередь, территория Каргопольского стана в своем административном подчинении прошла более сложный путь. После 1708 года она в составе Каргопольского уезда была первоначально причислена к Заонежским погостам, затем вместе с ними вошла в состав Ингерманландской (Санкт-Петербургской) губернии, а с 1727 года – в состав Новгородской губернии. И только в 1784 году Каргопольский уезд стал составной частью вновь образованной Олонецкой губернии, причем буквально через год была отделена часть его территории (в том числе и поселения по левому берегу Онеги от села Конево до границы Оксовской сельской администрации) вновь сформированному Пудожскому уезду.

В последующие полтора столетия границы уездов остались неизменными, расчлняя территорию Онежского бассейна на три составные части [15, карта], [32; 341]. И лишь в короткий исторический промежуток с 1797 по 1802 год архангельско-поонежские поселения имели единое административное подчинение в связи с временным упразднением Олонецкой губернии и отводом Пудожского и Каргопольского уездов к Архангельской губернии.

Тот факт, что бассейн реки Онеги оказался в числе районов наиболее ранней славянской колонизации, естественно отразился на всей его последующей истории, а органический сплав специфических природно-климатических, социально-экономических, исторических, политических и этнокультурных факторов содействовал формированию самобытных черт в культуре и архитектурно-строительной деятельности осевшего на этой территории русского населения [24], [17], [18].

Поэтому закономерен неиссякаемый интерес исследователей к историко-архитектурному наследию этого района Российского Севера. Здесь в свое время неоднократно побывали Л. В. Даль и В. В. Суслов, И. Э. Грабарь и Ф. Ф. Горностаев, С. Я. Забелло, В. Н. Иванов и П. Н. Максимов, И. В. Маковецкий, И. А. Бартенев и Б. Н. Федоров, Г. В. Алферова и Г. П. Гунн, Ю. С. Ушаков, О. Г. Севан и Б. В. Гнедовский. Но, несмотря на большое число публикаций, в той или иной мере затрагивающих архитектуру архангельско-поонежского субрегиона, поле деятельности для новых исследователей остается еще довольно обширным. В частности, относительно хорошо изученными выглядят лишь культовые сооружения да отдельные наиболее примечательные населенные пункты поонежской территории, тогда как жилая застройка поселений поонежского субрегиона практически не изучалась, а ее характеристики, содержащиеся в работах упомянутых выше авторов, не выходят за рамки общих наблюдений и единичных примеров. Наконец, необходимо отметить, что вне сферы внимания исследователей остались субрегиональная система расселения и ее составные части в виде групповых систем населенных мест – поселенческих кластеров.

С целью комплексного изучения народного зодчества Архангельского Поонежья в 1986–1987 годах под руководством одного из авторов статьи были проведены две историко-архитектурные экспедиции, в итоге работы которых обследованием были охвачены 160 традиционных сельских поселений и более 1700 крестьянских жилищно-хозяйственных построек на протяжении 340 км от Каргополя до села Чекуево [24], [46; 170].

Накопленный натурный материал в сочетании с результатами анализа архивно-литературных источников дает возможность получения общей характеристики расселенческой структуры, сформировавшейся в границах Архангельского Поонежья [24]. В частности, сведения, полученные из литературных источников, позволяют говорить о том, что, как и в случае с вышерассмотренными субрегионами Поважья и Примощья, на архангельско-поонежской территории за период с XI по XX век произошла последовательная смена систем расселения двух классов – с сельским (К1) и смешанным (сельско-городским – К2) населением [22], [24], [26]. Причем нельзя не заметить, что вторая система сформировалась здесь значительно раньше, чем, к примеру, на территории прибалтийских районов [22; 17], [48]. Так, если в условиях Беломорского Поморья начало формирования ныне существующей расселенческой системы, также относящейся к демоэкологическим типам К2, можно датировать XVI–XVII веками, поскольку время основания города Архангельска относится к 1584 году, а время преобразования в городские поселения волостных центров Мезени, Онеги и Кемского острога – к 1780–1785 годам [2], [7], [12; 13], то на архангельско-поонежской территории процесс преобразования системы расселения начался практически на два столетия раньше, поскольку основание города Каргополя относится исследователями к 1380 году, хотя в исторических актах его имя впервые упоминается в 1447 году [3; 105].

Однако, несмотря на более ранние сроки перехода от расселенческой системы типа К1 к системе типа К2, архангельско-поонежская демоэкологическая система осталась преимущественно сельской (К2/1) вплоть до начала XX века [22], [24], [26]. Так, известно, что в XVI веке в пределах Каргопольской земли проживало около 78 % крестьян и лишь 12 % посадских (городских) жителей. А в XIX – начале XX века Онежский уезд населяли по-прежнему преимущественно крестьяне, составлявшие 88,9 % (подсчитано по: [43], [44]). В Каргопольском уезде аналогичный показатель составлял даже 96,5 % [5; 12, прим. 8, 17, прим. 11].

Другая отличительная особенность Онежского бассейна – относительно высокий показатель плотности расселения (К2/1(3)). Только по данным на 1859 год. Онежский уезд, в состав которого входила большая часть Онежского бассейна, занимал 4-е место среди 7 уездов Архан-

гельской губернии, имея 72,06 жителя обоого пола на 1 кв. географическую милю [43; 20]. В свою очередь, в границах уезда на 1 погонный километр реки приходилось в 4 раза больше человек, чем, к примеру, на погонный километр береговой полосы Белого моря (подсчитано по: [44]). В то же время аналогичные показатели по Каргопольскому и Пудожскому уездам Олонецкой губернии, датируемые 1883 годом, составляют 172 и 70 жителей обоого пола на 1 кв. географическую милю [33; 25]. Используя дополнительные классификационные признаки, онежскую демоэко систему можно охарактеризовать как систему с относительно равномерным распределением населения, рассредоточенного в большом числе сельских поселений малой и средней дворности (К2/1(3)(01.1)).

Развивая далее характеристику архангельско-поонежской расселенческой системы, можно сказать, что за период с XI по XX век в границах этого субрегиона произошла последовательная смена систем расселения двух подклассов – с «погостной» (ПК1) и «комбинированной» (ПК4) организацией поселенческой ткани. Наличие последней, органически сочетающей в себе архаичные элементы «погостной» структуры с элементами более развитой системы расселения крупными селами, посадами и многодворными деревнями (ПК4:[ПК1+ПК2]), отличает бассейн реки Онеги от прибаломорских субрегионов [22; 18], [26], а время ее появления, судя по данным историка П. А. Колесникова, приходится на конец XVII – начало XVIII века [9; 76–77].

В данном случае для сравнения следует упомянуть о том, что в условиях Беломорского Поморья субрегиональные расселенческие системы типа ПК1, сформировавшиеся, судя по архивным источникам, в процессе новгородской колонизации прибаломорских земель, функционировали с XII до конца XVII века [45; 41], а в связи со сменой административного подчинения территорий и благодаря относительно быстрому процессу укрупнения поселений практически полностью преобразовались в демоэко системы типа ПК2. Причина заторможенности эволюционного процесса в архангельско-поонежском субрегионе, видимо, заключается в специфике хозяйственного использования территории, с

учетом которой онежскую демоэко систему можно отнести к группе систем с земледельческо-животноводческой специализацией (Г7) [10; 276, 371–372], [40; 150–151]. Именно острый дефицит земельных участков в сочетании с суровыми природно-климатическими условиями препятствовал увеличению дворности поселений и их последующему срастанию в крупные села, широко бытующие, к примеру, в границах прибаломорских субрегионов.

В свою очередь, по характеру распределения населенных пунктов, о чем уже упоминалось ранее, онежская демоэко система может быть отнесена к типу плотнопоселенных (Т3), дисперсно-концентрированных (Т3/3) систем смешанного подварианта (с сочетанием групповых систем населенных мест и автономных поселений) (Т3/3(3)). Об этом говорят следующие данные. Во-первых, на одно поонежское поселение приходится в 6 раз меньше погонных километров береговой полосы, чем на территории прибаломорских субрегионов. Во-вторых, на Онеге наблюдается несколько участков с концентрацией населенных пунктов в виде «пятен-сгущений». Примерами могут служить Федово-Усть-Мошенская, Городецкая (Прошковско-Шарковская) и Турчасовская межгрупповые системы с тяготеющими к ним автономными поселениями [45; 34, рис. 7].

Наконец, по рисунку поселенческой ткани архангельско-поонежскую расселенческую систему можно отнести к подтипу полосовых образований (ПТ1), а по взаимосвязи с ландшафтом – к разновидности приводомных систем (Р1) с рисунком поселенческой ткани, полностью отвечающим рисунку ландшафта (Р1(1)).

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

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архив Вельского краеведческого музея. Н-ВСП. Ф. № 1003. План Вельского посада Двинской области Важского уезда 1773 г. 1 л.
2. Баркина В. С. Кемь. 3-е изд., испр. и доп. Петрозаводск: Карелия, 1982. 135 с. (Города и районы Карелии)
3. Бартенев И. А., Федоров В. Н. Архитектурные памятники Русского Севера. М.; Л.: Искусство, 1968. 259 с., ил.
4. Богословский М. М. Земское самоуправление на русском Севере в XVII в. Т. I. Областное деление Поморья. Землевладение и общественный строй. Органы самоуправления. М.: Имп. общ-во истории и древностей российских при Московском университете, 1909. 321 с., 105 с.
5. Дурасов Г. П. Каргополье. Художественные сокровища: Альбом. М.: Сов. Россия, 1984. 208 с., ил.
6. Зарубин Л. А. Важская земля в XIV–XV вв. // История СССР. 1970. № 1. С. 182–183.
7. Калинин Г. Д. Онега. Архангельск, Вологда: Сев.-Зап. кн. изд-во, Волог. отд-ние, 1980. 126 с., ил.
8. Кизеветтер А. А. Русский Север. Роль северного края Европейской России в истории русского государства. Исторический очерк. Вологда: Типография Союза северных кооперативных союзов, 1919. 66 с.

9. Колесников П. А. Некоторые вопросы аграрных отношений на Европейском Севере в период позднего феодализма // Вопросы аграрной истории Европейского Севера СССР. Вып. 3. Вологда, 1968. С. 64–99.
10. Колесников П. А. Северная деревня в XV – первой половине XIX века (К вопросу об эволюции аграрных отношений в Русском государстве) / Вологод. пед. ин-т. Вологда: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1976. 416 с.
11. Копанев А. И. Платежная книга Двинского уезда 1580 года // Вопросы аграрной истории Европейского Севера СССР. Вып. 3. Вологда, 1968. С. 514–536.
12. Летопись Двинская / Издание П. А. Фокина. М.: Типография Л. и А. Снегиревых, 1882. 204 с.
13. Мартынов А. Я. Культура первобытного населения бассейна Северной Двины // Культура Русского Севера / АН СССР. Науч. совет по истории мировой культуры; Отв. ред. чл.-корр. АН СССР К. В. Чистов. Л.: Наука, Ленингр. отд., 1988. С. 22–44.
14. Математические модели в ареальных исследованиях морфологии традиционных сельских поселений и крестьянского жилища Российского Севера на базе системного анализа: Отчет о НИР (промежуточный) / ПетрГУ; Руководитель П. П. Медведев. № ГР 01.200.403265; Инв. № 02.200.403901. Петрозаводск, 2004. 149 с. (Соисполн.: Т. Д. Козлова, Е. И. Ратькова, Л. А. Девятникова, О. В. Дьяконова, Т. С. Зуева).
15. Материалы для географии и статистики России, собранные офицерами генерального штаба. Архангельская губерния. Составил генерального штаба капитан Н. Козлов. СПб.: Печатано в типографии Э. Веймара, 1865. 342 с., ил. (Карта Архангельской губернии 1865 г. / Картографич. заведение А. Ильина, масштаб 100 верст в англ. дюйме 1:4200000).
16. Материалы для оценки земель Вологодской губернии. Т. IV. Вельский уезд. Вып. II. Текст. Ч. 1. Общая. Ч. 2. Оценочная / Издание Вологодской Губернской Земской Управы. Вологда: Типография Губернского Правления, 1912. 380 с., карта.
17. Медведев П. П. Архитектура крестьянского жилого комплекса в бассейне реки Онеги (опыт ареального исследования) // Проблемы исследования, реставрации и использования архитектурного наследия Российского Севера: Межвуз. сб. Петрозаводск, 1991. С. 7–31.
18. Медведев П. П. Бани на территории Онежского бассейна (ареальные исследования) // Народное зодчество: Сб. науч. тр. Петрозаводск, 1992. С. 216–218.
19. Медведев П. П. Деревянное гражданское зодчество Беломорского Поморья (опыт системного анализа с применением ЭВМ). Т. 1: Дис. ... канд. архитектуры. Петрозаводск, 1985. 195 с.
20. Медведев П. П. Деревянное гражданское зодчество Беломорского Поморья (опыт системного анализа с применением ЭВМ). Т. 2. Приложение: Дис. ... канд. архитектуры. Петрозаводск, 1985. 311 с., ил.
21. Медведев П. П. Инвентаризация деревянного зодчества Няндомского района Архангельской области (краткие итоги полевого сезона 1991 г.) / Петрозаводский гос. ун-т. Петрозаводск, 1995. 65 с. Деп. в НИО «Информкультура» 18.11.95, № 2919.
22. Медведев П. П. К вопросу о классификации систем расселения на примере Беломорского Поморья // Проблемы исследования, реставрации и использования архитектурного наследия Русского Севера: Межвуз. сб. Петрозаводск, 1988. С. 14–28.
23. Медведев П. П. Система расселения Восточного Обонежья (ареальные исследования народного зодчества на территории Республики Карелия) / Петрозаводский гос. ун-т. Петрозаводск, 2000. 81 с. Деп. в ВНИИНТПИ 17.06.2000, № 17778.
24. Медведев П. П. Система расселения и объемно-планировочные структуры сельских поселений в бассейне реки Онеги (опыт ареального исследования) // Проблемы исследования, реставрации и использования архитектурного наследия Русского Севера: Межвуз. сб. Петрозаводск, 1989. С. 67–84, ил.
25. Медведев П. П. Система расселения Поважья (ареальные исследования Архангельской области) // Труды Петрозаводского государственного университета: Межвуз. сб. Серия «Строительство». Вып. 6. «Новые технологии в строительстве». Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1999. С. 19–23.
26. Медведев П. П. Традиционные территориальные системы расселения Беломорского Поморья (историко-архитектурные ареальные исследования) // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера: Тез. докл. междунар. конф. 19–23 ноября 1995 г. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1995. С. 267–268.
27. Медведев П. П., Ефлов В. Б., Реут О. Ч. Комплексное исследование закономерностей формирования архитектурно-природной среды традиционных сельских поселений восточных районов Карелии и сопредельных территорий // Молодежная инновационная политика: Концепция развития Республики Карелия: Тез. докл. шк.-семинара. Петрозаводск, 1993. С. 38–39.
28. Медведев П. П., Козлова Т. Д. Историко-архитектурное наследие Примосья (к морфологии традиционных архитектурно-пространственных систем и объектов Российского Севера) // Труды Петрозаводского государственного университета: Межвуз. сб. Серия «Строительство». Вып. 6. «Новые технологии в строительстве». Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1999. С. 24–28.
29. Медведев П. П., Реут О. Ч. Архитектурно-природная среда и рекреационные ресурсы Северного Приладожья // Региональная экология. 1996. № 3–4. С. 47–52.
30. 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.
31. Овсянников О. В. Археологические памятники Чуди заволочской в бассейне Ваги // Вопросы финноугроведения. Сыктывкар, 1979. Ч. 2. С. 73–74.
32. Олонецкая губерния: Статистический справочник / Статистическое Бюро Олонецкой Губернской Земской Управы. Петрозаводск: «Северная скоропечатня» Р. Г. Кац, 1913. 348 с.
33. Олонецкий сборник. Материалы для истории, географии и этнографии Олонецкого края. Вып. 2. Петрозаводск: Губ. типография, 1886. 238 с., 80 с., 200 с., 8 с.
34. Описание Вологодской губернии. Посвящено имени его императорского высочества государя наследника цесаревича, великого князя Александра Николаевича (Т. I, кн. IV, описания Российской Империи). Составлено и издано Иваном Пушкаревым. СПб., 1846. 122 с.
35. Опыт описания Вологодской губернии Николая Брусилова Вологодского гражданского губернатора действительного статского советника и кавалера. СПб.: Печатано при Императорской Академии Наук, 1833. 63 с.
36. Орфинский В. П. Деревянное зодчество Карелии (генезис, эволюция, национальные особенности). Т. 1: Дис. ... д-ра архитектуры. М.: ЦНИИТИА, 1975. 298 с., 55 с.
37. Полевые обследования по методике кафедры архитектуры ПГУ // Проблемы исследования, реставрации и использования архитектурного наследия Русского Севера: Межвуз. сб. Петрозаводск, 1989. С. 177–178.

38. Полевые обследования по методике кафедры архитектуры Петрозаводского государственного университета (ПГУ) // Проблемы исследования, реставрации и использования архитектурного наследия Российского Севера: Межвуз. сб. Петрозаводск, 1991. С. 171–172.
39. Полевые обследования по методике кафедры архитектуры Петрозаводского государственного университета (ПГУ) // Народное зодчество: Сб. науч. тр. Петрозаводск, 1992. С. 216–218.
40. Пошман А. Архангельская губерния в хозяйственном, коммерческом, философском, историческом и нравственном обозрении, с полезными на все оныя части заключениями. Сочинение Антона фон Пошмана (составленное в 1802 г.). Т. 1. Архангельск: Губернская типография, 1873. 195 с.
41. Рябинин Е. А. Финно-угорские племена в составе Древней Руси: К истории славяно-финских этнокультурных связей: Историко-археологические очерки. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1997. 260 с., ил.
42. Рябинин Е. А. Чудь заволочская // Природа. 1993. № 8. С. 22–29, ил.
43. Списки населенных мест Российской империи. Т. I. Архангельская губерния. Список населенных мест по сведениям 1859 года. СПб.: Тип. МВД, 1861. 131 с.
44. Список населенных мест Архангельской губернии к 1905 году / Сост. секретарем губ. стат. ком. Н. А. Голубцовым. Архангельск: Архангельский губ. стат. ком., 1907. 215 с.
45. Ушаков Ю. С. Ансамбль в народном зодчестве Русского Севера: Пространственная организация, композиционные приемы, восприятие. Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1982. 168 с., ил.
46. Хроника исследования историко-архитектурного наследия Европейского севера и Сибири по методике кафедры архитектуры ПГУ // Проблемы исследования, реставрации и использования архитектурного наследия Русского Севера: Межвуз. сб. Петрозаводск, 1988. С. 168–171.
47. Экономическое состояние городских поселений Европейской России в 1861–1862 гг. Ч. 1. Отдел VII. Вологодская губерния / Материалы для составления предположений об улучшении общественного управления в городах. СПб.: В типографии К. Вульфа, 1863. 37 с.
48. [Электронный ресурс] / Памятники архитектуры Карельского Поморья и Восточного Обонежья. Режим доступа: <http://arni.petrso.ru/2001/index.html>.
49. [Электронный ресурс] / Памятники архитектуры Карельского Приладожья. Режим доступа: <http://www.soros.karelia.ru/projects/1998/ladoga/index.html>.
50. [Электронный ресурс] / Памятники архитектуры Архангельского Приморья. Режим доступа: <http://arni.petrso.ru/2004/index.html>.
51. [Электронный ресурс] / Памятники архитектуры Западного Поважья. Режим доступа: <http://arni.petrso.ru/2008/index.html>.

УДК 628.3

**ЕЛЕНА ОЛЕГОВНА ГРАФОВА**

кандидат технических наук, ассистент кафедры водоснабжения, водоотведения и гидравлики строительного факультета ПетрГУ  
*chistayavoda@rambler.ru*

**РЕНАТ ИСХАКОВИЧ АЮКАЕВ**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водоснабжения, водоотведения и гидравлики  
*chistayavoda@rambler.ru*

**ЕВГЕНИЙ ВИКТОРОВИЧ ВЕНИЦИАНОВ**

доктор физико-математических наук, профессор Института водных проблем РАН, г. Москва  
*venits@aqua.laser.ru*

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ВОДООЧИСТКИ****Сообщение 2. «Сухое» фильтрование**

В водоснабжении загородных объектов перспективно применение «сухих» фильтров. Приводятся результаты математического моделирования процесса «сухого» фильтрования. Дано объяснение эффекта «пленочного» массообмена.

Ключевые слова: «сухое» фильтрование, пленочное течение, зернистый слой, математическое моделирование, водоснабжение загородных объектов

В [4] изложены доводы, побудившие нас обратиться к исследованию процесса «сухого» фильтрования – случайно переведенный в такой режим обычный зернистый скорый фильтр при очистке нефтесодержащих стоков оказалсякратно более производительным. Под термином «сухое» фильтрование в отечественной литературе известны работы ВНИИ ВОДГЕО [1] по обезжелезиванию подземных вод и НИИ КВОВ [5] по глубокому удалению из сточных вод аммония солевого, органических и взвешенных веществ.

Издавна для обезжелезивания подземной воды применяют метод упрощенной аэрации и фильтрования через затопленную зернистую загрузку крупностью 0,8–2 мм. Продолжительность фильтроцикла составляет обычно 16–24 ч.

При обезжелезивании подземной воды по методу «сухого» фильтрования верхний слой загрузки фильтра не затоплен, вода стекает под действием силы тяжести тонкой пленкой по крупнозернистой загрузке, затем фильтруется через мелкие фракции затопленной загрузки фильтра; при аэрофильтрации фактическая ско-

рость течения воды в порах (до 200 м/ч) почти в 30 раз выше, чем в «затопленных» фильтрах; продолжительность фильтроцикла в «затопленных» фильтрах не более одних суток, в аэрофильтрационных – 30 суток при одинаковой глубине очистки от железа.

В докторской диссертации Н. А. Залетовой [5] разработана новая технология биологической доочистки на фильтре, работающем по принципу «сухого» фильтрования для глубокого удаления аммония солевого, органических и взвешенных веществ. В качестве загрузки используется зернистый полистирол крупностью 2–7 мм, который выполняет две функции – одновременно и фильтрующая загрузка, и носитель иммобилизованной микрофлоры. Исходная вода разбрызгивается по поверхности загрузки. Легкий материал обеспечивает при укладке в воду и при промывке гидравлическое распределение с убывающей по фильтрационному потоку крупностью зерен. Растет использование грязеемкости загрузки, фильтроциклы увеличиваются до 20–30 суток.

Сервисное обслуживание большого количества систем водоснабжения и водоотведения загородных АЗС и объектов придорожного сервиса позволило нам выявить преимущества технологий и установок, когда межрегенерационный период рабочих элементов велик, вместо регенерации на месте можно перейти на простую замену отработавших элементов на резервные, а регенерацию отработавших производить в стационарных условиях на производственной базе. Так родилась конструкция «сухого» фильтра с выдвижными кассетами. На рис. 1 представлена схема «сухого» сорбционного фильтра кассетного типа.

Изначально была сформулирована феноменологическая модель «сухого» многокассетного фильтра, экспериментально получены некоторые параметры процесса, на практике показана состоятельность идеи.

При разработке модели «сухого» секционного фильтра приняты во внимание три особенности процесса:

1. Фильтрование воды происходит в водовоздушной, то есть в трехфазной среде (твердое тело – жидкость – газ), и в поровом пространстве не образуется сплошного тока воды. Вода образует пленочное (а не струйное) течение.

2. Фильтрация происходит в пульсационном режиме: подача загрязненной порции воды чередуется с периодами без подачи воды, когда пленка воды стекает, осадок и поверхность зерен фильтра оказываются в воздушной среде.

3. Секционная конструкция фильтра. При достижении времени защитного действия  $t_3$  первая секция изымается, вторая секция (частично загрязненная) становится первой, а новая чистая секция ставится в конец фильтра. Остановимся на последствиях этих особенностей для механизма фильтрации.

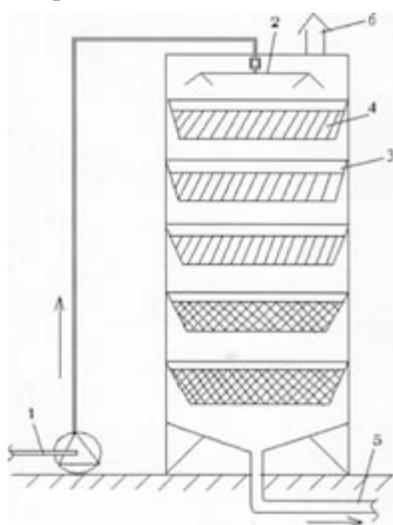


Рис. 1. Схема «сухого» сорбционного фильтра кассетного типа:

1 – исходный сток; 2 – распылитель; 3 – выдвижная секция с перфорированным дном; 4 – сорбент; 5 – выпуск очищенного (доочищенного) стока; 6 – вытяжка

## ВЛИЯНИЕ ПЛЕНОЧНОГО ХАРАКТЕРА ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ФИЛЬТРУЮЩЕМ СЛОЕ НА КИНЕТИКУ ПРОЦЕССА

При фильтрации жидкости в зернистом слое сплошным потоком происходит сложный процесс массопередачи загрязнения к поверхности частицы, имеющий следующие особенности [3].

1. Формируются застойные и проточные зоны. В проточных зонах реализуется струйное течение, в застойных зонах водообмен со струйным течением затруднен и происходит по границам застойных зон. Адвекция, то есть перенос воды и вещества, происходит в основном по проточным (струйным) зонам, которые составляют часть порового объема. Объем застойных зон зависит от числа Рейнольдса и при значениях  $Re \sim 1-10$  составляет до 50 % порового пространства [6].

2. Массоперенос осуществляется сначала от проточных к застойным зонам, где далее совершается массоперенос к поверхности частиц (рис. 2), причем если первая стадия (от проточных к застойным зонам) – процесс быстрого массопереноса, определяемый макропереносом за счет дисперсии поля локальных скоростей течения, то второй процесс (массоперенос в застойных зонах к поверхности) в значительной мере – диффузионный перенос к поверхности зерна. Мы исследовали этот процесс и построили модель сорбции с проточными и застойными зонами.

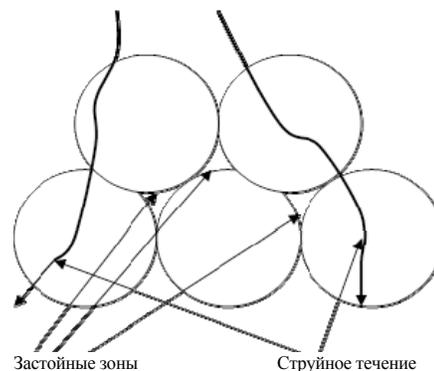


Рис. 2. Схема потока при однофазном течении

Сделаем оценку происходящих изменений в кинетике для двух схем течения.

При фильтрации жидкости в зернистом слое процесс массопередачи загрязняющего вещества (ЗВ) к поверхности зерна проходит по следующей схеме:

- В зернистом слое формируются застойные и проточные зоны. Адвекция происходит, в основном, по проточным (струйным) зонам, которые составляют часть от порового объема.
- Массоперенос ЗВ осуществляется сначала от проточных к застойным зонам, где далее совершается массоперенос к поверхности частиц.

$$\frac{\partial C_{33}}{\partial t} = \beta_1(C - C_{33}), \quad \frac{\partial a}{\partial t} = \beta_2(C_{33} - f^{-1}(a)), \quad (1.1)$$

где  $C(x, t)$  – концентрация ЗВ в проточной зоне (г/дм<sup>3</sup> воды),  $C_{33}(x, t)$  – концентрация ЗВ в застойной зоне (г/дм<sup>3</sup> воды),  $a(x, t)$  – концентрация ЗВ в сорбенте (г/дм<sup>3</sup> слоя фильтра),  $f^{-1}(a)$  – функция, обратная изотерме сорбции ЗВ на сорбенте,  $\beta_1, \beta_2$  – кинетические коэффициенты массопереноса между проточной и застойной зонами и застойной зоной и сорбентом соответственно (с<sup>-1</sup>).

Для оценки величины кинетического коэффициента  $\beta_1$  можно воспользоваться формулой

$$\beta_2 = \alpha D_{ж}/\Delta_2, \quad (1.2)$$

где  $D_{ж}$  – коэффициент молекулярной диффузии ЗВ жидкости, см<sup>2</sup>/с;  $\Delta_2$  – характерный размер каждой из зон, см;  $\alpha$  – численный коэффициент, учитывающий форму зон.

Суммарный путь диффузии  $\Delta_s$  при наличии двух зон будет равен

$$\Delta_s = \Delta_1 + \Delta_2. \quad (1.3)$$

Величина коэффициента внешней диффузии при сплошном течении жидкости для зернистого слоя (средний размер частиц сферической формы  $d$ , см) рассчитывается по формуле:

$$\beta = 0,009v^{0,5}d^{-1,5}, \quad (1.4)$$

где  $\beta$  – коэффициент внешней диффузии (с-1),  $d$  – средний размер частиц загрузки (см),  $v$  – средняя скорость тока жидкости, рассчитанная как отношение расхода к площади сечения фильтра (см/с). В формуле (1.3) средний путь диффузии оценивается по формулам (1.2) и (1.4), то есть имеет значение порядок размера зерен.

В случае капельного орошения фильтра внутри порового пространства формируется пленочное течение жидкости по поверхности зерен, то есть внутри порового слоя имеется трехфазная система: зерна загрузки, воздушные зоны и пленочное течение воды по поверхности зерен.

При таком течении значительно уменьшается расстояние диффузии ЗВ к поверхности фильтра. Толщина этого диффузионного слоя  $\Delta_n$  зависит от расхода воды. Ее величину можно оценить по отношению расхода воды при сплошном течении к расходу воды при дождевании. Минимальная оценка при этом составляет порядок. Следовательно, из формулы (1.3) находим, что диффузионный путь при дождевании по крайней мере на порядок меньше, чем при струйном течении. Следовательно, на порядок возрастает величина коэффициента внешней диффузии  $\beta$ .

3. Для ряда загрязняющих веществ, например нефтепродуктов, изотерма сорбции на лиофильных сорбентах является прямоугольной. Модель (1) трансформируется в систему вида:

$$\partial a/\partial t = \beta(a)C, \quad (1.5)$$

где  $\beta(a)$  – кинетический коэффициент, определяемый уравнением:

$$\beta(a) = \{\beta_0 \text{ при } a < a_0, 0 \text{ при } a = a_0\}. \quad (1.6)$$

Тогда решение задачи динамики сорбции имеет вид:

$$\begin{aligned} U(X, T) &= \exp(-X), \quad q(X, T) = T \exp(-X) \\ &\text{при } 0 \leq T \leq 1, \\ U(X, T) &= q(X, T) = \exp(-X + T - 1) \\ &\text{при } 1 \leq T \leq 1 + X, \\ U(X, T) &= q(X, T) = 1 \\ &\text{при } T \geq 1 + X, \end{aligned} \quad (1.7)$$

где  $U = C/C_0$ ,  $q = a/a_0$  – безразмерные концентрации,  $U$  – скорость потока (см/с),  $C_0$  – концентрация ЗВ до фильтрования,  $a_0$  – емкость фильтра, а безразмерные длина и время вводятся по формулам:

$$X = \beta x/v, \quad T = \beta t/\Gamma, \quad (1.7a)$$

где  $\beta$  – коэффициент внешней диффузии (в пленке или суммарный по застойной и проточной зонам), коэффициент распределения равен отношению емкости фильтра  $a_0$  к входной концентрации ЗВ  $C_0$ :

$$\Gamma = a_0/C_0.$$

Время защитного действия  $t_{пр}$  (с) определяется по формуле:

$$t_{пр} = \Gamma/vl + \Gamma/\beta(1 + 2,31gC_n/C_0), \quad (1.8)$$

где  $C_n$  – требуемая (нормативная) концентрация на выходе из фильтра,  $l$  – длина фильтрующего слоя (см).

Для выбранного сорбента время защитного действия равно сумме двух слагаемых в (1.8). Первое слагаемое в основном определяется емкостью сорбента. Второе слагаемое главным образом зависит от кинетики процесса. Поэтому при прочих неизменных условиях фильтрования изменение режима вызывает пропорциональное изменение второго слагаемого в формуле (1.8).

Для обоих вариантов фильтрации выражение в круглых скобках одинаково. Однако коэффициент  $\beta$  обратно пропорционален толщине диффузионного слоя. Для пленочной фильтрации эта величина примерно на порядок меньше, чем при традиционной фильтрации с заполнением водой всего объема порового слоя. Во столько же раз возрастает и время защитного действия. Происходит также пропорциональное увеличение  $t_{пр}$  для водовоздушной фильтрации за счет первого слагаемого вследствие уменьшения скорости  $U$ .

Таким образом, водовоздушная фильтрация имеет бесспорные преимущества перед традиционной однофазной, вытекающие из значительного улучшения кинетики массопереноса.

### ВЛИЯНИЕ ПРЕРЫВИСТОГО РЕЖИМА ВОДОВОЗДУШНОГО ФИЛЬТРОВАНИЯ НА ЭФФЕКТ АДСОРБЦИИ

Фильтрующий материал является гидрофобным и лиофильным, что обеспечивает прилипание загрязняющих частиц нефтемаслопродуктов (НМП) к поверхности частиц. При наличии сплошного потока воды, загрязненной НМП, молекулы воды препятствуют действию межмолекулярных сил в направлении расширения пятен НМП на поверхности загрузки.

При пульсационном режиме происходит стекание воды, а прилипшие частицы НМП остаются в слое, поскольку силы межмолекулярного взаимодействия зерен с НМП намного больше, чем с водой.

Этот эффект различия сил молекулярного взаимодействия воды и НМП способствует расширению пятен НМП на поверхности частиц загрузки в отсутствие тока воды. Тем самым увеличивается емкость фильтра. Очевидно, что чем больше продолжительность паузы, тем меньшее количество воды остается на поверхности сорбента, тем меньше сопротивление молекул воды расширению пятен НМП и тем выше емкость.

Некоторую аналогию этому процессу мы находим в работе [3]. В ней приводится график зависимости эффективности удаления аммония от времени аэрации фильтра. Автором для изучения влияния аэрации на повышение эффективности развития нитрифицирующего бактериоценоза использовалась модель

$$u \frac{dC_2}{dl} = -\frac{k_2 C_2 B_1}{K_2 + C_2} - \frac{k_5 C_2 C B_1}{(K_5 + C_2)(K_0 + C)}, \quad (2.1.)$$

где  $C_2(l)$  – концентрация  $NH_4$ ;  $C$  – концентрация кислорода в воде;  $B_1$  – концентрация нитрификаторов,  $u$  – скорость фильтрации в слое,  $l$  – координата по длине фильтра;  $k_i, K_j$  – константы.

В этом уравнении эффективность работы фильтра обеспечивается в том числе концентрацией нитрификаторов  $B_1$ , которая входит в уравнение (2.1) в виде линейного члена. Аэрация способствует увеличению концентрации  $B_1$ , и это единственный фактор, на который влияет аэрация.

В нашем случае механизм увеличения емкости фильтра на стадии паузы в фильтровании аналогичен описанному выше механизму возрастания концентрации нитрификаторов. Нами предложена следующая модель роста емкости фильтра при высушивании:

$$da_0/dt = a_{0max} - \gamma a_0, \quad (2.2)$$

где  $a_0(t)$  – емкость фильтра в данный момент фильтрации (при фильтрации только водовоздушной смеси без аэрации – величина постоянная),  $a_{0max}$  – максимально достижимая емкость фильтра для набора НМП данной загрузки,  $\gamma$  –

кинетический коэффициент повышения емкости загрузки при аэрации.

В начальный момент  $t = 0$  емкость фильтра равна  $a_{0н}$ . И при аэрации она растет, подчиняясь уравнению (2.2), причем отсчитывается только время аэрации. Решение уравнения имеет вид:

$$a_0(t) = a_{0max} - (a_{0max} - a_0) \exp(-\gamma t).$$

В нашем случае аэрация способствует повышению емкости фильтра, и эта зависимость реализуется через уравнение кинетики (1.5). При аэрации происходит увеличение емкости  $a_0$ , и этот эффект воздействует на рост эффективности фильтрования.

### МОДЕЛЬ ОЧИСТКИ ВОДЫ НА МНОГОСЕКЦИОННОМ «СУХОМ» ФИЛЬТРЕ

Обозначим время защитного действия односекционного фильтра через  $t_{30}$ .

Сравним его эффективность с многосекционным (число секций –  $n$ ). На рис. 3 представлена процедура смены секций после достижения времени защитного действия  $t_{30}$  (первая сорбция происходит на чистом слое).



Рис. 3. Смена отработанной секции при достижении времени защитного действия  $t_{30}$ ;

*a* – распределение загрязнения по слою в момент  $t_{30}$ ;  
*б* – удаление наиболее загрязненной секции и дополнение чистой секции в хвостовой части

Очистка идет в частично загрязненном слое.

Дает ли эффект посекционная смена фильтрующего слоя? Будем вести сравнение двух вариантов.

*Вариант 1.* Меняем фильтр полностью. Тогда время защитного действия то же –  $t_{31}$ .

*Вариант 2.* Заменяем секцию (объем  $V/n$ ). При смене  $n$  секций полностью обновим первоначальный фильтр. Суммарное время защитного действия то же  $t_{32}$ .

Будет ли время защитного действия  $t_{32}$  в результате полной замены всех секций (то есть при последовательной смене  $n$  секций) на фильтре меньше или больше времени защитного действия при полной смене загрязненного фильтра свежим  $t_{31}$ ?

Сначала рассмотрим решение задачи динамики сорбции на секционном фильтре. Принимая модель (1.6).

Рассмотрим последовательно этапы замены секций.

Этап 1.

Фильтрация на чистом слое.

В качестве модели выбираем систему (1.6) в безразмерных переменных:

$$-\partial u/\partial X = \partial q/\partial T = \{u \text{ при } q < 1; 0 \text{ при } q = 1\}, \quad (3.1)$$

где  $u = C/C_0$ ,  $q = a/a_0$  – безразмерные концентрации загрязняющего вещества в растворе и осадке соответственно,  $X = \beta x/v$ ,  $T = \beta t/\Gamma$  – безразмерные длина и время. Начальные и граничные условия:

$$u(X, 0) = \exp(-X); \quad q(X, 0) = 0, \quad u(0, T) = 1.$$

Решение имеет вид (1.7). Нас интересует поведение выходной кривой  $u(X, T)$  при  $X_0$ . Оно состоит из двух участков:

$$\begin{aligned} u(X_0, T) &= \exp(-X_0) \text{ при } 0 \leq T \leq 1, \\ u(X_0, T) &= \exp(-X_0 + T - 1) \text{ при } 1 \leq T \leq 1 + X_0; \\ u(X_0, T) &= 0 \text{ при } T \geq 1 + X_0. \end{aligned}$$

На начальном участке ( $T \leq 1$ ) выходная кривая – постоянная концентрация  $\exp(-X_0)$ . Длину фильтра следует выбирать из условия:

$$\exp(-X_0) \ll u_n, \quad (3.2)$$

то есть меньше заданной нормативной концентрации в фильтрате. При  $T > 1$  концентрация в выходном сечении фильтра будет возрастать по формуле:

$$u(X_0, T) = \exp(-X_0 + T - 1) \text{ при } T > 1 \quad (3.3)$$

или  $u(X, T) = u_n \exp(T - 1)$ .

Время защитного действия следует из (4.3.3.3). В момент  $T = T_n$  достигается концентрация  $u_n$

$$T_n = X_0 + 1 + \ln u_n. \quad (3.4)$$

Назовем это время временем защитного действия чистого фильтра. Размерное время защитного действия чистого фильтра равно:

$$t_{31} = \Gamma T_n / \beta, \quad (3.5)$$

то есть тем больше, чем больше коэффициент распределения (емкость фильтра) и чем меньше кинетический коэффициент  $\beta$ . Распределение осадка по слою в этот момент представлено на рис. 4.

Определим толщину лобового слоя  $\Delta$ , где произошла обработка слоя в момент проскока  $T_n$ . Подставив (3.4) в решение (1.7), получим:

$$\Delta = X_0 + \ln u_n. \quad (3.6)$$

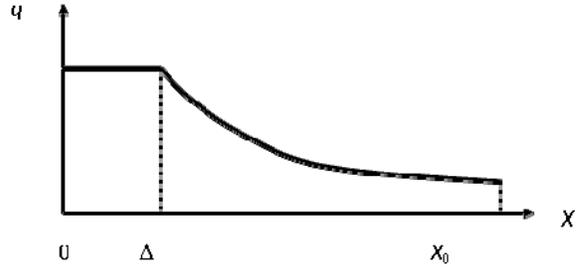


Рис. 4. Распределение осадка по слою фильтра в момент проскока  $T_n$

Толщина лобового слоя меньше  $X_0$ , так как  $\ln u_n < 0$ . Кроме того, из (3.4) следует:

$$T_n = \Delta + 1. \quad (3.4a)$$

В момент остановки фильтра на перезагрузку распределение концентрации осадка дается уравнением:

$$q(X, T_n) = 1 \text{ для } X < \Delta, \quad q(X, T_n) = \exp(-X + \Delta) \text{ для } X_0 > X \geq \Delta. \quad (3.7)$$

Далее лобовой слой  $\Delta$  удаляется, а в хвостовую часть фильтра досыпается чистая загрузка. Распределение представлено на рис. 5.

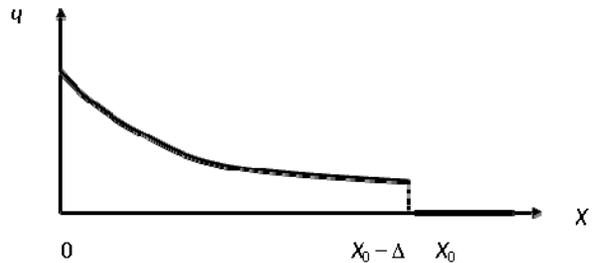


Рис. 5. Распределение осадка по слою фильтра в момент перезагрузки

Этап 2.

Далее вновь начинается фильтрация на слое, имеющем распределение, представленное на рис. 4.3.5. Решение исходной системы (3.1) ведется при частично обработанном слое. Распределение осадка выражается:

$$q(X, 0) = \{ \exp(-X) \text{ для } X_0 - \Delta > X \geq 0, \\ 0 \text{ для } X_0 - \Delta \leq X \leq X_0 \}.$$

Решение этой задачи в момент проскока (когда на выходе достигается проскоковая концентрация  $u_n$ ) определяется выражением:

$$\begin{aligned} q(X, T) &= \{ 1 \text{ при } 0 \leq T \leq X \leq \Delta; \\ q(X, T) &= \exp(-X + T) \text{ при } T < \Delta \text{ и } T \leq X \leq X_0 - \Delta; \\ q(X, T) &= \exp(-X)(\exp(T) - 1) \text{ при } X_0 - \Delta \leq X \leq X_0, \end{aligned} \quad (3.8)$$

которое для момента  $T_{п,2}$  (см. далее) представлено графически на рис. 6.

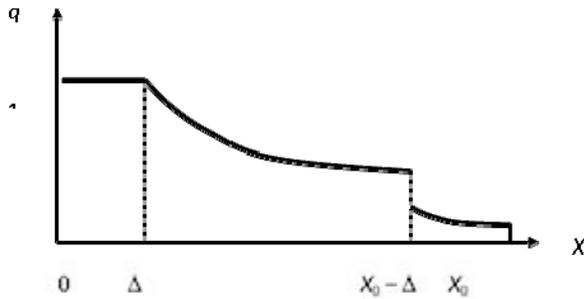


Рис. 6. Распределение осадка по слою фильтра в момент проскока после перегрузки

Из решения (3.8) следует, что проскок также наступает в момент времени  $T_{п,2} = \Delta$ , когда концентрация ЗВ в выходном сечении будет равна  $u_n$ . В этот момент времени распределение осадка по слою дается выражением:

$$\begin{aligned} q(X, T_{п,2}) &= \{ 1 \text{ при } 0 \leq X \leq \Delta; \\ q(X, T_{п,2}) &= \exp(-X + \Delta) \text{ при } \Delta < X \leq X_0 - \Delta; \\ q(X, T_{п,2}) &= \exp(-X)(\exp(\Delta) - \exp(-\Delta)) \\ &\text{при } X_0 - \Delta \leq X \leq X_0 \}. \end{aligned} \quad (3.9)$$

Обратим внимание на важную особенность решения. Вновь при проскоке, как и на первоначально полностью чистом фильтре, обрабатывается лобовой слой длины  $\Delta$ . Время работы этого фильтра до проскока при каждой перегрузке равно  $\Delta$ :

$$T_{п,i} = \Delta.$$

Далее процедура продолжается: изымается лобовой слой  $\Delta$  и добавляется чистая загрузка в конце фильтра (см. рис. 7). При решении оказывается, что и время  $T_{п,3}$  до проскока  $u_n$  также равно  $\Delta$ . Также обрабатывается лобовой слой толщины  $\Delta$ .

При повторении указанной процедуры общее число таких перегрузок должно равняться

$$X_0/\Delta \approx n.$$

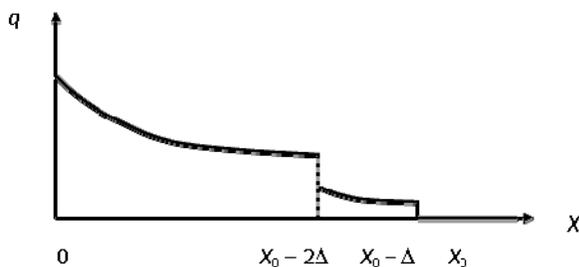


Рис. 7. Распределение осадка по слою фильтра в момент второй перегрузки

Таким образом, если толщина обработанного слоя  $\Delta$  равна  $X_0/n$ , то до полной смены слоя потребуется  $n$  замен обработанных слоев, так что для полного времени защитного действия в варианте 2 потребуется время

$$T_{32} = X_0. \quad (3.10)$$

Сравним это время с временем защитного действия на первоначально полностью чистом фильтре, которое равно

$$T_{31} = \Delta + 1. \quad (3.4a)$$

Следовательно, проверяем неравенство:

$$T_{31} = 1 + X_0/n < X_0 = T_{32}.$$

Это неравенство эквивалентно следующему

$$T_{32} = X_0 > 1/(1 - 1/n). \quad (3.11)$$

Но это условие заведомо выполняется вследствие требования

$$\exp(-X_0) \ll u_n, \quad (3.12)$$

когда выбирается длина слоя с достаточно глубокой степенью очистки, так как если  $X_0 \approx 1$ , то проскоковая концентрация  $\exp(-X_0) \approx \exp(-1) = 0,36$ , что заведомо неприемлемо. Даже в самом крайнем случае  $n \approx 2$  условие (3.11) имеет вид:

$$X_0 > 2.$$

В этом случае проскоковая концентрация 0,13, что, как правило, неприемлемо для нее.

Оценим для реальных случаев характерные размеры слоев фильтра.

В заключение сделаем вывод о наиболее эффективном числе секций. Из формулы (3.11) следует, что наиболее значительный выигрыш по времени защитного действия будет при большем числе секций  $n$ . Однако здесь ограничителем будут производственные условия.

Важно подчеркнуть, что даже две секции дают выигрыш по времени защитного действия в пользу секционного фильтра.

По результатам исследования математической модели секционного фильтра для инженерных нужд разработана расчетная программа. Программа позволяет выбирать необходимое число секций и время защитного действия сорбционной загрузки, исходя из емкости фильтра, концентрации нефтепродуктов в исходной воде и требуемого эффекта очистки (в разработке программы принял участие кандидат технических наук А. С. Селиванов).

В качестве среды разработки использовалась популярная система визуального программирования Windows – Borland C++ Builder 6.0. Эта система обеспечивает удобную и естественную

среду разработки, поддержку различных C и C++ компиляторов и отладчиков.

Исследование построенной математической модели секционного фильтрования указывает на то, что по мере увеличения числа секций растет выигрыш по времени защитного действия загрузки фильтра.

На практике число секций фильтра ограничивается реальными конструктивными возможностями. Так, на построенных нами объектах удачными оказывались конструкции фильтров с 4–6 секциями.

В общем случае задача поиска оптимального числа секций фильтра требует аналитического описания целевой функции. Такая функция должна отражать приведенные затраты на строительство и эксплуатацию очистных сооружений. Построение целевой функции является само по себе сложной задачей и требует детального изучения различных производственных факторов. Так, в докторской диссертации Р. И. Аюкаева [2] для решения оптимизационных задач при конструировании зернистых фильтров с новыми фильтрующими материалами были «переработаны» с десятком типовых проектов фильтровальных станций, проанализированы эксплуатационные затраты на действующих водоочистных сооружениях Куйбышева, Тольятти, Набережных Челнов, Петрозаводска.

Задачу окончательного выбора можно вынести за скобки моделирования и оставить право выбора окончательного варианта за инженером. В этом случае исходными данными для такого выбора могут стать зависимости высоты слоя загрузки фильтра от числа секций, времени защитного действия одной секции от общего числа секций (с последующим усложнением задачи).

Для определения данных параметров в разработанной программе используется следующий алгоритм. На первом этапе задается число секций

фильтра  $n$ . При известной эффективности очистки  $\mathcal{E}$  и входной концентрации  $C_0$  нефтепродуктов вычисляется концентрация нефтепродуктов на выходе

$$C = C_0 - \mathcal{E} \times C_0 \text{ и величина } u = \frac{C}{C_0}.$$

Исходя из соотношения  $\Delta = X_0 + \ln u$ , где  $\Delta$  – безразмерная толщина лобового слоя,  $X_0$  – безразмерная толщина фильтра, определяется безразмерная толщина фильтра (при этом учитывается, что  $\Delta = \frac{X_0}{n}$ ). Безразмерное время до про-

скока составляет  $T_n = \Delta = \frac{X_0}{n}$ . Для перехода к размерным величинам необходимо определить кинетический коэффициент  $\beta$ . В разработанной программе для кинетического коэффициента используется соотношение (1.4).

Переход к размерной длине осуществляется по формуле  $x = \frac{X_0}{\beta} \times v$ , для размерного времени

$t = \frac{\Gamma}{\beta} \times T_n$ , где  $\Gamma$  – коэффициент распределения,

равный отношению емкости фильтра к входной концентрации нефтепродуктов.

При проведении расчетов количество секций варьируется от 2 до 7. По каждому варианту рассчитывается необходимая толщина фильтрующего слоя и время защитного действия для каждой секции.

Право выбора конкретного варианта (определение числа секций фильтра) остается за инженером.

Результаты расчета для одного из контрольных примеров представлены на рис. 8.

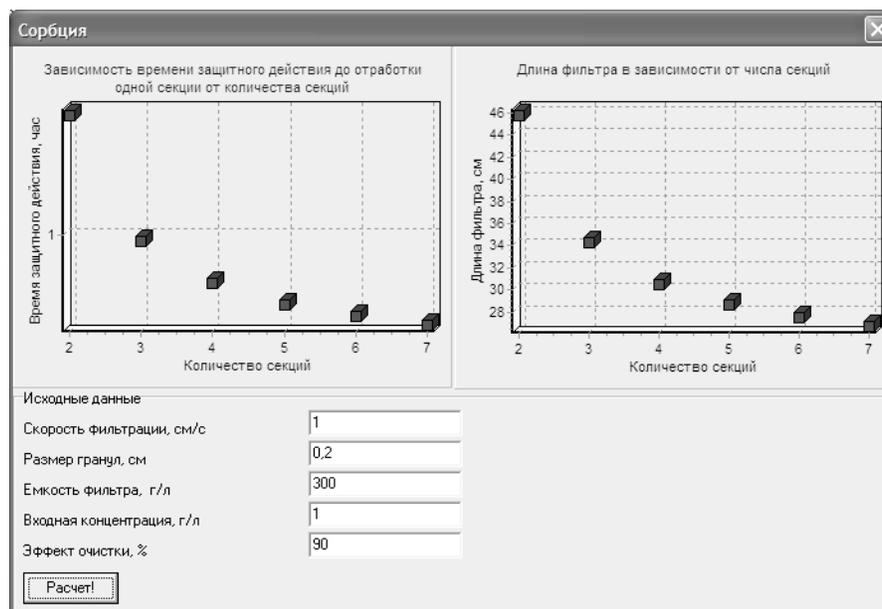


Рис. 8. Результаты расчета сорбционного фильтра для контрольного примера

Проведены полупромышленные и промышленные испытания «сухого» фильтра. Так, многокассетный фильтр «сухого» фильтрования включен по нашим рекомендациям в состав основного водоочистного оборудования оборотной системы водоснабжения загородной АЗС в пригороде Медвежьегорска. Сооружения построены и после проведения пусконаладочных работ пущены в штатную эксплуатацию. Заказчик был предупрежден об опытном характере предложенной технологии, принял ее и способствовал проведению наблюдений за работой сооружений.

Полупромышленные испытания проведены в рамках пусконаладочных работ, что позволило несколько расширить финансовые возможности по объему и количеству контролируемых параметров. Пятикассетный фильтр был загружен: первая – четвертая кассеты – плитами из модифицированного торфа; пятая кассета – минеральным сорбентом «Новосорб». Контролировались расход стоков, качество исходной и очищенной воды по ступеням очистки по взвешенным веществам, нефтепродуктам. Результаты анализов по характерному опыту представлены в таблице.

Показатели работы пятисекционного «сухого» фильтра на АЗС в пригороде Медвежьегорска

Показатели загрязнений, мг/л	Точки отбора проб стоков на анализ					
	исходная	1	2	3	4	5
Взвешенные вещества	60.0	35.0	20.0	11.0	6.0	2.5
Нефтепродукты	24.0	20.0	6.0	3.0	2.0	0.7

Вследствие трудоемкости и дороговизны анализов стоков в динамике удалось организовать анализ незначительного количества проб на содержание нефтепродуктов.

По результатам пусконаладки сооружений разработана исполнительная документация, составлены нормативные акты по передаче построенных сооружений в штатную эксплуатацию, обучен штатный оператор.

## ВЫВОДЫ

1. Анализ работ по ионно-каталитическому методу обезжелезивания подземных вод и биологическому методу удаления загрязнений азотной группы из хозяйственно-бытовых и близких к ним по составу сточных вод на зернистых фильтрах «сухого» фильтрования показал перспективность их применения для конструирования «редкообслуживаемых» водоочистных установок для использования на водоочистных сооружениях загородного размещения.
2. Анализ предлагаемых на рынке сорбционных материалов отечественного и иностранного производства показал перспективность использования для «сухих» фильтров местного материала – модифицированного торфа.
3. Обосновано феноменологическое, гидродинамическое и массообменное объяснение эффекта «сухого» фильтрования в сорбционных и биологических методах разделения растворов и суспензий.
4. Разработанная и исследованная математическая модель, блок-схема и программа расчета «сухих» фильтров подтверждаются полученными экспериментально кинетическими зависимостями изъятия нефтепродуктов и соединений азота.
5. Многокассетный «сухой» фильтр с использованием органического (торфоплиты) и минерального («Новосорб») сорбентов обеспечивает простое в устройстве, эксплуатации и сервисном обслуживании, с высоким очищающим и доочищающим эффектом сооружение для объектов загородного размещения.
6. По рекомендациям и при участии авторов запроектированы, построены, переданы в штатную эксплуатацию и находятся на консультативном сервисном обслуживании очистные сооружения для загородной автомойки (оборотная вода), загородной базы отдыха (дождевой сток) и загородного промышленного предприятия пищевого профиля (смесь производственного и хозяйственного стока).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асс Г. Ю., Трубецкой Б. Е., Гандельман А. А., Широков Г. М., Иргис Ю. Я. Обезжелезивание воды методом аэрофильтрации // Вода и санитарная техника. 1985.
2. Аюкаев Р. И. Теоретическое обобщение и промышленный опыт интенсификации работы водоочистных фильтров с высокопористыми материалами: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1981. 43 с.
3. Голубев В. С., Веницианов Е. В., Гарибянц А. А. Уравнения гидродинамической дисперсии и динамики сорбции для пористой среды с застойными зонами // Теоретические основы химической технологии. М., 1980. Т. 14. № 4. С. 607–610.
4. Графова Е. О. Повышение эффективности работы систем водоснабжения и водоотведения загородных объектов: Дис. ... канд. техн. наук. СПб.: СПбГАСУ, 2008. 148 с.
5. Залетова Н. А. Очистка городских сточных вод от биогенных веществ (соединений азота и фосфора): Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М.: НИИ КВОВ, 1999. 50 с.
6. Хаппель Дж., Бернер Г. Гидродинамика при малых числах Рейнольдса. М.: Мир, 1976. 635 с.

УДК 624.01/04

**ЛЮБОВЬ ФЕДОРОВНА СЕЛЮТИНА**

кандидат технических наук, доцент кафедры архитектуры, строительных конструкций и геотехники строительного факультета ПетрГУ  
*selutinalf@mail.ru*

**ВИТАЛИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ КОРНИЛОВ**

инженер ООО «Проект Финанс», г. Петрозаводск  
*os05@mail.ru*

**ИССЛЕДОВАНИЯ ДОЩАТЫХ ФЕРМ  
С ПОДАТЛИВЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ**

В статье представлены результаты исследований дощатых ферм с соединениями на металлических зубчатых пластинах. Исследования выполнены с помощью программного комплекса SCAD и разработанной программы. Изучено влияние факторов: высоты поперечного сечения элементов решетки; формы решетки; высоты фермы.

Ключевые слова: фермы, соединения, металлические зубчатые пластины

**ВВЕДЕНИЕ**

К настоящему времени в мире известно свыше 100 конструкций металлических зубчатых пластин (МЗП), используемых в узловых соединениях деревянных конструкций («Аппард», МЗП-1,2, МЗП-2, MiTek и др.). Применение МЗП в большепролетных деревянных конструкциях позволяет реализовать следующие преимущества:

- несложный фундамент – легкие деревянные конструкции не требуют массивных фундаментов, таких как, например, железобетонные конструкции;
- удовлетворительные противопожарные качества и коррозионная стойкость;
- быстрый и несложный монтаж, который в большинстве случаев не нуждается в применении средств тяжелой механизации;
- перекрытие зданий больших пролетов без внутренних опор;
- легкий и экономичный монтаж систем отопления, электро- и сантехнического оборудования, климатических систем;

- незначительные расходы по восстановлению защитных покрытий деревянных конструкций при эксплуатации зданий;
- для возведения зданий не требуется привлечения высококвалифицированного рабочего персонала.

Главной особенностью выпускаемых конструкций является их относительно невысокая цена при высоком качестве. Низкий уровень цен достигается малыми расходами на изготовление конструкций (как по материальным, энергетическим, так и по людским ресурсам). Типы производимых ферм представлены на рис. 1.

**СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА**

Соединения дощатых конструкций на металлических зубчатых пластинах обладают повышенной деформативностью. Отечественные нормы [5], [6] недостаточно полно описывают расчет данного вида соединений, где они приравниваются к нагельным. При использовании рекомендаций норм [5], [6] расчетные значения прогибов (перемещений узлов) превышают экс-

периментальные. Расчет фермы на МЗП как шарнирно-стержневой системы дает заниженные значения прогибов.

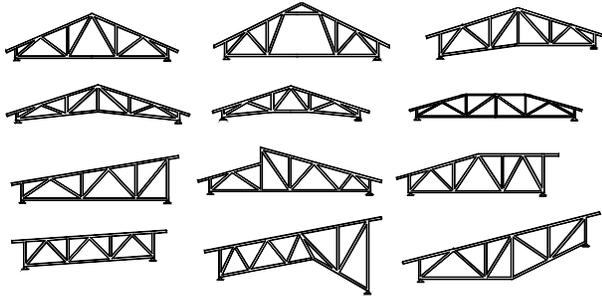


Рис. 1. Типы производимых ферм

Авторы статей [1], [8] о расчетах конструкций с податливыми соединениями предлагают в качестве расчетного программного комплекса использовать COSMOS/M Designer. На основании экспериментов исследователи делают вывод, что наиболее подходящим является использование конечного элемента с упруго-защемленными концами [3] (рис. 2).

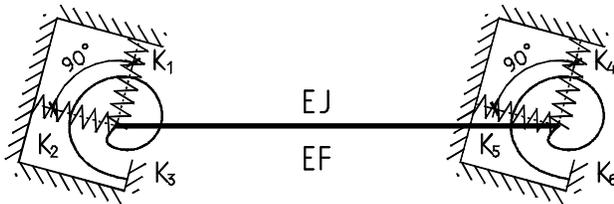


Рис. 2. Конечный элемент с упруго-податливыми опорами

Коэффициенты упругого защемления предлагается определять из испытаний образцов на чистый изгиб и центральное растяжение. После статистической обработки полученных экспериментальных данных строятся соответствующие функциональные зависимости, позволяющие определять линейную и угловую податливости.

В настоящее время выпускаются МЗП разнообразных конструкций. Переменными параметрами МЗП являются: длина зуба, количество зубьев на единицу площади, форма зуба, направление зубьев к оси пластины и т. д. Все эти конструктивные особенности МЗП оказывают влияние на деформативность соединения (происходит смятие древесины, упругие и пластические деформации зубьев, вырывание зубьев из толщи древесины при нагружении). При испытаниях образцов на растяжение и изгиб можно построить функциональные зависимости лишь для определенного типа пластины (МЗП-1,2, МЗП-2, «Аппард» и т. д.) и применять эти результаты при расчетах ферм по второй группе предельных состояний.

Расчет сквозных деревянных конструкций по второй группе предельных состояний выполняют в следующем порядке: 1) назначают размеры сечений элементов фермы; 2) определяют схемы

загружений постоянной и временной нагрузками; 3) вычисляют нагрузки и усилия; 4) определяют прогибы; 5) сравнивают расчетные значения перемещений узлов с предельными по СНиП [7]; 6) принимают решение о расчете по первой группе предельных состояний (проверка прочности элементов фермы, определение размеров пластин) или об изменении расчетных параметров: пролета, шага ферм, размеров поперечных сечений досок для поясов и элементов решетки.

При расчете фермы по деформациям неизвестны площади металлических зубчатых пластин, перекрывающих соединения элементов фермы, а следовательно, неизвестны и податливости узлов. При первоначальном расчете можно использовать только предельные значения податливостей, допускаемые в данном виде соединений. После расчета узлов (определения площадей МЗП) можно произвести расчет с использованием податливостей, вычисленных для каждого узла, в зависимости от площади и расположения пластины. Но такой подход является нерациональным, так как в силу ряда причин прогиб может остаться прежним (превышающим предельно допустимый), и расчеты окажутся напрасными.

Моделирование действительной работы МЗП в соединениях является весьма трудоемкой задачей, интересной, наверное, только ученым. Инженеру-проектировщику необходим достаточно простой и при этом обеспечивающий приемлемую точность результатов метод расчета. Поэтому при проектировании и расчете конструкций на МЗП могут осуществляться два подхода:

1. Расчет с помощью программных средств, поставляемых производителями оборудования и расходных материалов для производства конструкций на МЗП;
2. Расчет с помощью программных средств промышленного использования, основанных на методе конечных элементов.

В первом подходе используются программы, основанные на экспериментальных данных о работе конструкций и соединений. Если поставщики находятся за границей, также используются нормативные документы (регламенты, рекомендации) зарубежных стран, несертифицированные в установленном порядке на территории Российской Федерации, что ставит под сомнение использование такого рода программных продуктов с точки зрения законодательства. Однако с точки зрения потребителя конструкции, запроектированные с использованием таких программ, будут обладать требуемыми эксплуатационными качествами и соответствовать своему функциональному назначению.

При втором подходе можно варьировать расчетную схему, учитывать неразрезность элементов поясов и податливости соединений, тем самым приближая расчетную схему к действительной работе конструкции. Далее в исследованиях будет использован второй подход.

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАСЧЕТУ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ УЗЛОВ ФЕРМЫ

Как показали экспериментальные исследования дощатых ферм с соединениями на МЗП [4], при расчете в соответствии с требованиями норм теоретические значения прогибов фермы превышают опытные примерно в два раза.

В ходе численного эксперимента, проведенного с применением конечно-элементного комплекса SCAD, податливость моделировалась введением в элементы решетки фермы конечного элемента № 55 (упругой связи). Жесткость связи задавалась в зависимости от усилий в стержне. Жесткость – это реакция связи при единичном смещении. Если деформация податливости равна  $m = 2$  мм, а усилие в стержне  $N = 80,2$  кН, то жесткость равна  $80,2/2 = 40,1$  кН/мм. Жесткости по осям X и Y задавались одинаковыми. При использовании указанных предпосылок расчета получено, что при податливости соединения 0,8 мм разница между опытными и теоретическими прогибами составляет 5%. Окно ввода параметров упругой связи показано на рис. 3, окно запроса параметров – на рис. 4.

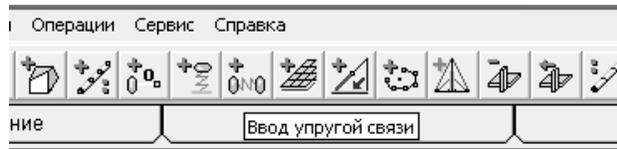


Рис. 3. Ввод данных об упругой связи



Рис. 4. Окно запроса параметров

Особенностью системы SCAD является то, что жесткости связей можно задавать в направлении глобальных осей X, Y и Z, поэтому при моделировании деформации податливости жесткости связей для плоских конструкций (в плоскости XoZ) заданы одинаковыми по осям X и Z. Так как суммарное смещение узла находится как геометрическая сумма смещений по осям X и Z, можно записать:

$$\Delta x = K * N * \cos \alpha ;$$

$$\Delta y = K * N * \sin \alpha ,$$

где  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  – смещения по соответствующим осям;  $N$  – усилие в стержне.

Суммарное перемещение находим по теореме Пифагора:

$$\Delta = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} = \sqrt{(K * N * \cos \alpha)^2 + (K * N * \sin \alpha)^2} =$$

$$= N * K * \sqrt{\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = N * K.$$

Итак, перемещение узла равно  $N * K$ .

В качестве иллюстрации рассмотрим пример расчета. Расчет перемещений узлов фермы треугольного очертания пролетом 11,7 м был выполнен методом конечных элементов при следующих допущениях:

1. Учитывается только линейная податливость соединений;
2. Верхний и нижний пояс в расчете являются неразрезными;
3. Предельная деформация соединения для стоек и раскосов равна 0,8 мм;
4. Модуль упругости древесины принят равным  $E' = 300R_c$  (для нижнего пояса  $R_c = 15$  МПа – 1-й сорт; для верхнего пояса и элементов решетки  $R_c = 13$  МПа – 2-й сорт);
5. Сечение элементов поясов – 175 x 55 мм;
6. Сечение элементов решетки – 125 x 55 мм.

Схема деформаций узлов фермы представлена на рис. 5. Значения перемещений узлов – в табл. 1.

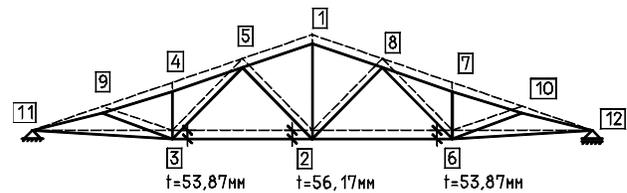


Рис. 5. Схема деформаций фермы

Таблица 1  
Теоретические и опытные перемещения узлов

№ узла	Перемещения, мм		Погрешность, %
	теоретические	экспериментальные	
3	53,87	51	5,3
2	56,17	53,5	4,8
6	53,87	51	5,3

Программа расчета прогибов дощатых конструкций с соединениями на МЗП разработана на языке программирования Delphi 7.0 [2], [9].

Программа позволяет: определять усилия в стержнях от расчетных и нормативных нагрузок, перемещения узлов фермы, расход древесины на ферму; сравнивать значения прогибов с предельными по СНиП [7]; выводить результаты расчета в форме протокола с отображением расчетной и деформированной схем фермы.

В интерфейсе программы реализован выбор 12 видов решеток; схемы загружений снеговой нагрузкой приняты по СНиП «Нагрузки и воздействия» [7]. Пользователь может задавать различные значения податливости соединений, выбирать условия эксплуатации конструкции, ха-

рактические характеристики элементов фермы, назначать места соединений досок поясов в соответствии с длиной пиломатериалов.

Программа определяет перемещения узлов по формуле Мора.

**НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММЫ**

Разработанная программа позволила выполнить исследования влияния различных факторов на перемещения узлов с податливыми связями.

1. *Влияние высоты сечения элементов решетки.* Высота сечения элементов решетки назначалась в соответствии с конструктивными требованиями для крепления зубчатых пластин.

На рис. 6 представлена схема фермы с раскосной формой решетки и перемещения узлов. Исходные данные: пролет фермы – 9500 мм; высота фермы – 2000 мм; ширина сечения элементов фермы – 60 мм; высота сечения поясов – 175 мм, элементов решетки – 125 мм. Верхний пояс и элементы решетки запроектированы из древесины хвойных пород 2-го сорта, нижний пояс – из древесины 1-го сорта. Постоянная нагрузка по верхнему поясу – 3 кН/м.

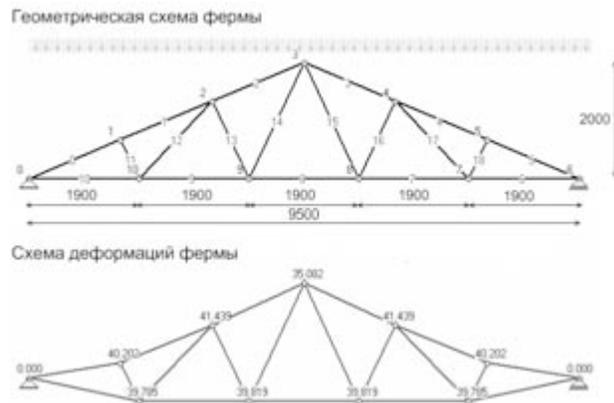


Рис. 6. Ферма с треугольной решеткой

Исследования показали, что применение для решетки досок с высотой сечения, превышающей высоту поперечного сечения досок поясов, нецелесообразно, так как это ведет к увеличению расхода древесины (табл. 2).

**Таблица 2**

Результаты исследования влияния высоты сечения элементов решетки

Высота сечения решетки	Расход древесины на ферму, м <sup>3</sup>	Перемещение узла нижнего пояса, мм	Предельный прогиб, мм	Превышение предельного прогиба, %
85	0,299	41,84	41,45	0,93
100	0,312	41,65	41,45	0,48
125	0,332	41,44	41,45	—
175	0,374	41,19	41,45	—
250	0,436	41,01	41,45	—

При увеличении высоты сечения прогиб уменьшается по линейной зависимости, в то время как расход древесины увеличивается нелинейно.

2. *Влияние высоты фермы на перемещения узлов.* Исследовались фермы треугольного очертания с различными углами наклона верхнего пояса. Критериями оценки явилось выполнение требований 2-й группы предельных состояний и минимальный расход древесины. Результаты исследований представлены на рис. 7.

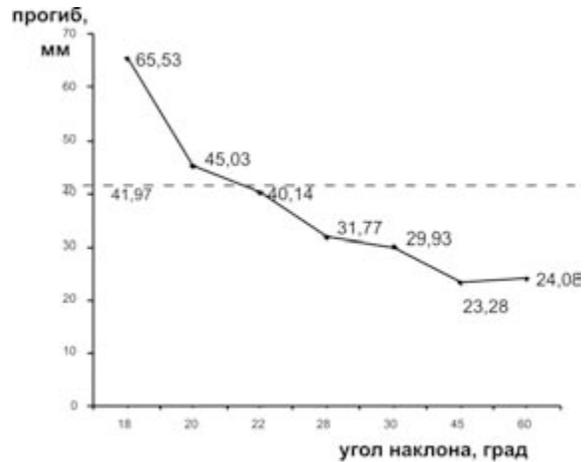


Рис. 7. Зависимость перемещений узлов нижнего пояса от угла наклона верхнего пояса

Перемещения узлов фермы зависят от угла наклона верхнего пояса нелинейно. Например, для фермы пролетом  $L = 9680$  мм оптимальными являются углы наклона  $\alpha = 21-25^\circ$ .

3. *Влияние формы решетки.* Исследования выполнены для ферм с решетками трех типов: раскосной, раскосно-стойечной (рис. 8, 9, 10). Меньшую материалоемкость при прочих равных условиях имеют фермы с раскосной решеткой.

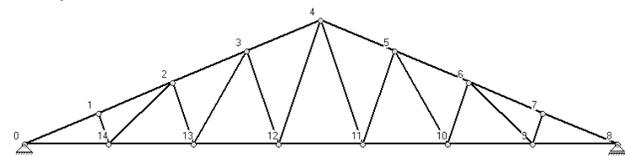


Рис. 8. Ферма с раскосной решеткой

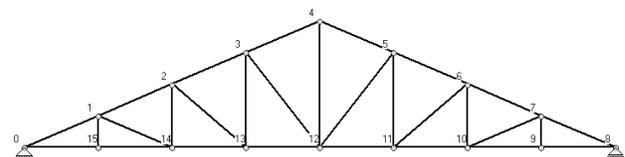


Рис. 9. Ферма с раскосно-стойечной решеткой, тип 1

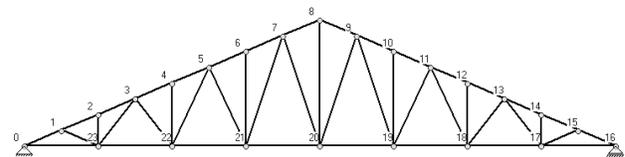


Рис. 10. Ферма с раскосно-стойечной решеткой, тип 2

## ВЫВОДЫ

Выполненные исследования позволяют расширить представление о работе сквозных дощатых конструкций и наметить направления дальнейших теоретических и экспериментальных исследований ферм с податливыми соединениями, а также уточнить область их применения.

Программа, разработанная на языке программирования Delphi 7.0, позволяет определять усилия в стержнях и прогибы дощатых ферм, выполнять исследования различных типов

ферм треугольного очертания с податливыми соединениями, решать задачи проектирования ферм минимальной материалоемкости, учитывать условия размещения металлических зубчатых пластин, длину пиломатериалов, получать необходимые данные для последующего расчета узлов конструкций (определение площади МЗП). Программа может применяться при экспериментальных исследованиях дощатых ферм на МЗП, в том числе при вариантном проектировании конструкций, альтернативно по отношению к обычно используемым.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грачев В. А., Найштут Ю. С. Статическая работа деревянной фермы с соединениями на металлических зубчатых пластинах // *Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Эффективные строительные конструкции: теория и практика»*. Пенза, 2002. С. 47–53.
2. Дарахвелидзе П. Г., Марков Е. П. Программирование в Delphi 7. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 784 с.
3. Крицын А. В. Расчет сквозных деревянных конструкций на металлических зубчатых пластинах с учетом упруго-вязких пластических деформаций: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Н. Новгород: ННГАСУ, 2005. 26 с.
4. Миронов В. Г. Деформирование дощатых ферм с соединениями на металлических зубчатых пластинах при кратковременных и длительно действующих нагрузках // *Совершенствование строительных конструкций из дерева и пластмасс: Межвузовский тематический сборник трудов*. СПб., 1992. С. 48–55.
5. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП 25-80) / ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. М.: Стройиздат, 1986. 216 с.
6. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования / Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1983. 31 с.
7. СНиП 2.01.07-85\*. Нагрузки и воздействия / Госстрой России. М.: ГУП ЦПП, 2003. 44 с.
8. Удалкин В. В. Исследования прогибов деревянных ферм // *Сб. материалов всероссийской науч.-практич. конф. молодых ученых «Строительные конструкции – 2000»*. Ч. 3. «Конструкции из дерева и пластмасс. Строительная механика» / Моск. гос. строит. ун-т. М., 2000. С. 74–79.
9. Фаронов В. В. Delphi 2005. Язык, среда, разработка приложений. СПб.: Питер, 2005. 560 с.

УДК 595.789: 591.9

**ВЯЧЕСЛАВ ВАСИЛЬЕВИЧ ГОРБАЧ**

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

**ЕЛЕНА СЕРГЕЕВНА РЕЗНИЧЕНКО**

аспирант кафедры зоологии и экологии эколого-биологического факультета ПетрГУ  
reznichenkoelena@yandex.ru

**ВИДОВОЙ СОСТАВ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ДНЕВНЫХ БАБОЧЕК (LEPIDOPTERA, DIURNA)  
В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ФЕННОСКАНДИИ**

В статье обобщены сведения о составе фауны и распространении видов дневных бабочек в Юго-Восточной Фенноскандии. В настоящее время для этого региона указано 100 видов 6 семейств. Для каждого вида показано провинциальное распределение, выделено 8 групп, объединяющих бабочек со сходным распространением на исследуемой территории.

Ключевые слова: дневные бабочки, Юго-Восточная Фенноскандия, биогеографические провинции, видовой состав, распространение видов

Фенноскандия – природная область в Европе, включающая Скандинавский и Кольский полуострова и территорию между Белым и Балтийским морями к западу и северо-западу от линии р. Онега – р. Кена – оз. Кенозеро – р. Тамбича – оз. Тамбичозеро – пограничная просека Республики Карелия с Архангельской и Вологодской областями по водоразделу Андомской возвышенности – р. Андома – южное побережье Онежского озера – р. Свирь – южное побережье Ладожского озера – р. Нева. В. С. Куликов делит российский часть Фенноскандии на два района – юго-восточный и северо-восточный, расположенных соответственно к югу и к северу от административной границы между Республикой Карелия и Мурманской областью [10]. В соответствии с принятым биогеографическим районированием [26], в данной работе мы определяем Юго-Восточную Фенноскандию как территорию 10 карельских провинций (см. рисунок). Государственная граница между Россией и Финляндией

делит эту территорию на две неравные части – русскую и финскую. Русская Карелия административно разделена между пятью регионами. Большая ее часть входит в состав Республики Карелия. Карельский перешеек (*Isthmus karelicus*), восточная часть *Karelia australis* и небольшие территории на крайнем юге *Karelia ladogensis* и *olonezensis* принадлежат Ленинградской области. Северные районы *Karelia keretina* отнесены к Мурманской области, восточные районы *Karelia transonegensis* и *romoriga orientalis* – к Архангельской области, и, наконец, юг *Karelia transonegensis* входит в состав Вологодской области. К финской Карелии относят западные части трех провинций – *Karelia borealis*, *australis* и *ladogensis*. Для удобства на рассматриваемой территории мы выделяем три зоны: северную, включающую три северо-таежные провинции (см. рисунок), центральную, также с тремя провинциями (*Karelia borealis*, *olonegensis* и *transonegensis*) и южную с остальными четырьмя провинциями.



Биогеографические провинции Юго-Восточной Фенноскандии [26]:

Среднетаежная подзона: Ik – *Isthmus karelicus*, Ka – *Karelia australis*, Kl – *K. ladogensis*, Kb – *K. borealis*, Kol – *K. olonetsensis*, Kon – *K. onegensis*, Kton – *K. transonogensis*. Северотаежная зона: Kрор – *K. pomorica orientalis*, Kрос – *K. p. occidentalis*, Kk – *K. keretina*. Пунктирной линией показана государственная граница, точками – граница Фенноскандии с Русской равниной по Куликову [10]

Фауна дневных бабочек в Юго-Восточной Фенноскандии исследована крайне неравномерно. Наиболее хорошо изучена фауна финской Карелии. Бабочек собирали здесь начиная с XVIII века, но всеобщий характер исследования приобрели в прошлом веке, когда к немногочисленным профессиональным энтомологам добавилась огромная армия любителей бабочек. В результате была получена ценнейшая информация о распространении и обилии видов, наиболее полно отраженная в последней монографии, посвященной этой группе насекомых [34]. В 1991 году при активной поддержке лепидоптерологического общества в Финляндии стартовала программа мониторинга дневных бабочек. Получаемые сведения ежегодно публикуются в журнале «*Vaptria*», обзоры за несколько лет отслеживают динамику фауны [38], [39]. Появление доступного полевого атласа-определителя [35] позволило вовлечь в работу большое число граждан, прежде всего студентов и школьников. В итоге число локальных территорий, квадратов размером 10 × 10 км, включенных в программу, увеличилось со 136 до 564 уже к 2000 году и остается примерно на этом уровне до сих пор. Во

втором издании атласа [36] по новейшим данным уточнено распространение многих бабочек. Это издание содержит информацию и о видах, не найденных в Финляндии, но известных из сопредельных регионов. За исключением чернушки *Erebia euryale*, в нем нет сведений о бабочках Северо-Запада России. Вместе с тем последняя сводка по Ленинградской области содержит указания на целый ряд таких видов [31].

Из российских регионов наиболее полные сведения имеются по Ленинградской области. Здесь, так же как и в Финляндии, изучение чешуекрылых началось еще в XVIII веке. Первые наиболее полные и достоверные сводки по фауне бабочек Санкт-Петербурга и его окрестностей принадлежат Сиверсу [46], [47]. В дальнейшем представленные списки подвергались ревизиям, уточнялись и дополнялись трудами многих энтомологов. В работе А. И. Иванова и соавторов [31] наиболее полно представлены современные знания о бабочках этого региона. Опубликованные данные и сведения, полученные позднее, содержатся в базе данных Е. В. Цветкова [20]. Информация по охраняемым видам имеется также и в Красной книге природы Ленинградской области [8]. Из районов, относящихся к Юго-Восточной Фенноскандии, относительно хорошо изучен лишь Карельский перешеек. По *Karelia australis* сведений не так много. Пожалуй, наиболее полным является материал, собранный финскими энтомологами в окрестностях Светогорска (Сторожевое – Каменогорск – Топольки) в рамках проекта KARMИ [44]. Северо-постольской области в границах провинции *Karelia olonetsensis* – наименее изученный район, однако и здесь имеются современные указания на ряд интересных находок.

До середины прошлого века изученность фауны чешуекрылых на территориях, ныне входящих в состав Республики Карелия, почти не уступала вышеупомянутым регионам. Первые сведения о бабочках Приладожья и Прионежья относятся к 1785 году [14]. В течение следующих 150 лет здесь собирали материал многие русские и финские энтомологи [12]. Результаты их работы нашли отражение и в первых каталогах бабочек [4], [49], и в обобщающих сводках [32], [41], завершивших этот период исследований. После, вплоть до конца XX столетия, дневных бабочек почти не изучали, имеется лишь одна статья, относящаяся к этому времени [19]. В настоящий момент наиболее полно изучена фауна бабочек Северо-Западного Прионежья и Приладожья из районов Сопуха – Викшица – Кончезеро – Гомсельга [11], [28] и Калаамо – Хелюля – Рускеала – Вяртсиля [44] соответственно. Имеются сведения и с других территорий [1], [3], [15]–[18], [22]–[24], [29], [30], [33], [42]. Характерной чертой современных исследований является их приуроченность к относительно небольшим территориям и ограниченность во времени. Обычно это связано с тем, что специали-

стам приходится решать другие задачи, и фаунистический материал зачастую собирается лишь попутно. Эти сборы в целом дают вполне адекватные знания об обычных видах, но редкие и, прежде всего, локально распространенные виды часто выпадают из поля зрения исследователей. Например, из многих мест, где, по сведениям Кайсилы [32], встречаются такие бабочки, материал отсутствует. С другой стороны, очень немного сборов, выполненных весной, в начале и конце лета. Поэтому так много видов с неопределенным статусом в Красной книге Республики Карелия [9]. Пользоваться же старыми данными приходится с большой осторожностью, поскольку за последние полвека места обитания бабочек могли сильно преобразиться вследствие естественных сукцессий, массовых рубок лесов, мелиоративных мероприятий, интенсификации и концентрации сельскохозяйственного производства. Тем не менее имеющийся опыт дает основания полагать, что многие редкие виды вполне могли сохраниться в указанных районах. Так, целенаправленный поиск мест обитания мнемозины *Parnassius mnemosyne* показал, что популяции существуют на всех ранее известных территориях, вид в русской Карелии распространен более широко и более многочислен в сравнении с данными полувекковой давности. В Финляндии за то же время мнемозина исчезла из большинства ранее населенных мест.

Фауна дневных бабочек южных районов Мурманской области в основном известна по сборам, выполненным на территории Кандалакского заповедника [1], [21]. По западным районам Архангельской и Вологодской областей материала нет.

Анализ имеющейся литературы показывает, что фауна дневных бабочек Юго-Восточной Фенноскандии включает 100 видов 6 семейств. Состав фауны известен довольно полно, дальнейшие исследования вряд ли способны внести в список видов сколько-нибудь существенные изменения, и они необходимы, прежде всего, для изучения особенностей распространения чешуекрылых. В русской Карелии существуют обширные территории, на которых исследования никогда не проводили, и много интереснейших районов, в которых бабочек не собирали уже более полвека. Вместе с тем уже сегодня имеется большой материал, требующий обобщения и позволяющий с определенными допущениями и экстраполяциями очерчивать границы областей распространения многих видов бабочек в Юго-Восточной Фенноскандии. Опираясь на опубликованные материалы, используя собственные данные и фрагментарные сборы студентов и школьников из различных районов Карелии (табл. 1), в данной работе мы приводим сведения о видовом составе и распространении дневных бабочек по изучаемой территории. Списки видов даны в соответствии с биогеографическим делением Юго-Восточной Фенноскандии (табл. 2).

По сравнению с ранее опубликованными сведениями [43], выделены современные данные и разделен материал, относящийся к русской и финской частям Карелии. Кроме того, за прошедшее время появились новые сведения, позволившие внести некоторые дополнения и исправления в представленные списки дневных бабочек. Анализ имеющегося материала позволил выделить 8 групп, объединяющих виды со сходным распространением.

Таблица 1

Сведения, использованные для составления фаунистических списков и анализа распространения дневных бабочек по территории Юго-Восточной Фенноскандии

Провинции	Современные данные		Другие сведения
	материал	литература	
Ik	нет	[20], [31]	[5], [8], [13]
Ka	нет	[20], [44]	[13], [27], [48]
Kl	Элисенваара (2001), Импилахти (2002)	[20], [25], [44]	[13], [48]
Kol	Петрозаводск: Деревянное – Машезеро – Лососинное – Вилга (1990–2008), Вагатовозеро: Салменица – Нижняя Салма (1991), Олонек: Видлица – Ильинское – Мергега (2003–2004)	[16]	[20], [32]
Kь	Толвоярви (1999), Суоярви (1992–1994, 2002)	[3]	[32], [48]
Kon	Петрозаводск: Логморучей – Шуя – Виданы (1990–2008), Кончезеро: Мартнаволок – Марциальные Воды – Гомсельга – Большое Вороново (1990–2008), заповедник «Кивач»: Сопуха – Водопад Кивач – Викшица (1995–1996), Палеостров (1999), Сенная Губа, Кижы (2002–2008)	[11], [18], [28], [30]	[33]
Kton	Повенец, Шальский: Бесовос (1999), Водлозеро: Великостров (2007)	[17]	[32]
Kрос	Костомукша: район, подчиненный горсовету, включая Костомукшский заповедник (2006–2008)	[29], [24]	[39], [41]
Kрог	Беломорск (1993), Сосновец, Нижнее Выгозеро: о-ва Сосновец, Сиговец (1999), Сегежа: Дубово (1990), Полга (1991)	[1], [22]	[41]
Kk	Кандалакша, Алакортти (1987), Чула, Картеши: Беломорская биостанция ЗИН РАН (1993)	[1], [15], [21], [23]	[13], [19]



Окончание табл. 2

№	Вид	Ик	Ка	Кл	Kol	Kb	Kon	Kton	Крос	Кпор	Кк
Семейство <b>NYMPHALIDAE</b> Swainson, 1827 – НИМФАЛИДЫ											
52.	<i>Apatura iris</i> (Linnaeus, 1758) – Переливница большая	■	+	■	□						
53.	<i>Limenitis populi</i> (Linnaeus, 1758) – Ленточник тополевый	■	+	■	■	■	■		■		
54.	<i>Nymphalis antiopa</i> (Linnaeus, 1758) – Траурница	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
55.	<i>N. polychloros</i> (Linnaeus, 1758) – Многоцветница	■	+								
56.	<i>N. xanthomelas</i> (Esper, [1781]) – М. черно-рыжая	■			■	+					
57.	<i>N. (Roddia) vau-album</i> ([Dennis & Schiffermüller], 1775) – М. v-белое	□		+		+					
58.	<i>N. (Inachis) io</i> (Linnaeus, 1758) – Дневной павлиний глаз	■	■	■	■	■	■	■	■		
59.	<i>N. (Aglais) urticae</i> (Linnaeus, 1758) – Крапивница	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
60.	<i>Polygonia c-album</i> (Linnaeus, 1758) – Углокрыльница с-белое	■	■	■	■	■	■	■	■		■
61.	<i>Vanessa atalanta</i> (Linnaeus, 1758) – Адмирал	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
62.	<i>V. (Cynthia) cardui</i> (Linnaeus, 1758) – Репейница	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
63.	<i>Arashnia levana</i> (Linnaeus, 1758) – Пестрокрыльница изменчивая	■	+	■	■	■	■	■	■	■	
64.	<i>Euphydryas aurinia</i> (Rottemburg, 1775) – Шашечница авриния	□	■		□	+					
65.	<i>E. (Hypodryas) matura</i> (Linnaeus, 1758) – III. большая	■	■	■	■	+	■	■			
66.	<i>Melitaea (Mellecta) athalia</i> (Rottemburg, 1775) – III. аталиа	■	■	■	■	■	■	■	□		
67.	<i>M. (Cinclidia) phoebe</i> ([Dennis & Schiffermüller], 1775) – III. феба	□									
68.	<i>Argynnis paphia</i> (Linnaeus, 1758) – Перламутровка большая лесная	■	■	■	■	+	■	■			
69.	<i>A. (Argyronome) laodice</i> (Pallas, 1771) – П. зеленоватая	■	+	+							
70.	<i>A. (Speyeria) aglaja</i> (Linnaeus, 1758) – П. аглая	■	■	■	■	■	■	■	□	■	
71.	<i>A. (Fabriciana) niobe</i> (Linnaeus, 1758) – П. ниоба	■	+	+	□	+	□				
72.	<i>A. (F.) adippe</i> ([Dennis & Schiffermüller], 1775) – П. адиппа	■	■	■	■	■	■	■			
73.	<i>Issoria lathonia</i> (Linnaeus, 1758) – П. полевая	■	+	+	□	+	■	■	□		
74.	<i>Brenthis ino</i> (Rottemburg, 1775) – П.-таволжанка	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
75.	<i>Boloria aquilonaris</i> (Stichel, 1908) – П. северная	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
76.	<i>Clossiana euphrosyne</i> (Linnaeus, 1758) – П. эфросина	■	■	+	■	■	■	■	■	■	■
77.	<i>C. dia</i> (Linnaeus, 1767) – П. малая	■									
78.	<i>C. titania</i> (Esper, [1793]) – П. титания	□	+		□	+	■	■			
79.	<i>C. selene</i> ([Dennis & Schiffermüller], 1775) – П. селена	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
80.	<i>C. freija</i> (Becklin in Thunberg, 1791) – П. фрейя	■	(■)		□	+	■	■	□		
81.	<i>C. thore</i> (Hübner, [1803]) – П. альпийская	□				+					
82.	<i>C. frigga</i> (Becklin in Thunberg, 1791) – П. фригга	■			□	+	■	□	□	□	
83.	<i>C. (Proclassiana) eunomia</i> (Esper, [1799]) – П. эвномия	■	(■)	+	■	■	■	■	■	■	■
Семейство <b>SATYRIDAE</b> Boisduval, [1833] – БАРХАТНИЦЫ											
84.	<i>Pararge aegeria</i> (Linnaeus, 1758) – Краеглазка эгерия	■	+	+	■	+	■	□			
85.	<i>P. (Lasiommata) maera</i> (Linnaeus, 1758) – Бархатка большая	■	■	■	■	■	■	■	■		
86.	<i>P. (L.) petropolitana</i> (Fabricius, 1787) – Б. петербургская	■	■	+	■	+	■	■	■	■	■
87.	<i>P. (Lopinga) achine</i> (Scopoli, 1763) – Краеглазка печальная	□	□								
88.	<i>Coenonympha pamphilus</i> (Linnaeus, 1758) – Сенница обыкновенная	■	■	+	□	■	□		■		□
89.	<i>C. hero</i> (Linnaeus, 1761) – С. геро	■									
90.	<i>C. tullia</i> (Müller, 1764) – С. болотная	■	(■)	+	■	■	■	■	■	■	■
91.	<i>C. glycerion</i> (Borkhausen, 1788) – С. луговая	■	■	■	■	+	■	■	□		
92.	<i>Aphantopus hyperantus</i> (Linnaeus, 1758) – Глазок цветочный	■	■	■	■	■	■	■	■	□	
93.	<i>Maniola jurtina</i> (Linnaeus, 1758) – Волоний глаз	■	■	+	■	+	■	■			
94.	<i>Hyponephele lycaon</i> (Rottemburg, 1775) – Крупноглазка ликаон	■	■		(■)		□				
95.	<i>Erebia ligea</i> (Linnaeus, 1758) – Чернушка кофейная, Лигея	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
96.	<i>E. embla</i> (Becklin in Thunberg, 1791) – Ч. болотная	■	+		■	+	■	■	□	■	■
97.	<i>E. disa</i> (Becklin in Thunberg, 1791) – Ч. дуса	■							□		
98.	<i>E. euryale</i> (Esper, [1805]) – Ч. эвриала	■			□	□	■	■			
99.	<i>Oeneis jutta</i> (Hübner, [1806]) – Сатир болотный, Ютта	■	(■)		■	+	■	■	■	■	■
100.	<i>Hipparchia (Parahipparchia) semele</i> (Linnaeus, 1758) – С. боровой	■	■								

Примечание. Обозначения биогеографических провинций приведены на рисунке. Названия таксонов даны по Львовскому и Моргуну [13].

■ – виды, указанные для русской Карелии и сопредельных районов России после 1980 года (источники информации указаны в графе «Современные данные» табл. 1); □ – виды, отсутствующие в современных сборах, но отмеченные ранее (источники информации для этой и следующей категории приведены в графе «Другие сведения» табл. 1); + – виды, известные лишь из финской Карелии и сопредельных районов Финляндии; ? – указание И. В. Кожанчикова [7] на *P. andromedae*, по-видимому, относится к этому виду. Скобками отмечены находки на сопредельных территориях вблизи границ соответствующих провинций

## I. ВИДЫ, РАСПРОСТРАНЕННЫЕ ПО ВСЕЙ ТЕРРИТОРИИ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ФЕННОСКАНДИИ

Прежде всего, это обычные виды: белянки *Anthocharis cardamines*, *Pieris napi* и *Colias palaeno*, голубянки *Callophrys rubi*, *Plebejus argus*, *P. idas*, *P. optilete*, *Polyommatus icarus* и *P. semiargus*, нимфалиды *Nymphalis antiopa*, *N. urticae*, *Boloria aquilonaris*, *Clossiana euphrosyne*, *C. selene* и *C. euphrosyne*, бархатницы *Pararge petropolitana* и *Erebia ligea*. Повсеместно, но, как правило, в небольшом числе встречаются толстоголовка *Carterocephalus palaemon*, махаон *Papilio machaon*, голубянки *Lycaena hippothoe*, *Aricia artaxerxes* и *A. eumedon*, нимфалиды *Vanessa atalanta* и *V. cardui*. Бархатницы *Coenonympha tullia*, *Erebia embla* и *Oeneis jutta*, связанные со сфагновыми болотами, обычны в северных и центральных провинциях, но имеют локальное распространение на юге. Еще более локальны толстоголовка *Pyrgus centaureae*, перламутровка *Clossiana freija* и *C. frigga*, которые населяют исключительно мошковые болота. Кайсила [32] отмечает этих бабочек как виды с умеренной численностью для многих мест в Карелии от Присвирья до Сегозера и Повенца, а И. В. Кожанчиков [7] – как очень редких для Карельского перешейка. Современные сведения крайне скудны: малочисленная популяция первого вида известна с болота на м. Картеш (Белое море), два других вида – с болота близ ст. Лейпясуо на Карельском перешейке [31] и из заповедника «Кивач» [11], [28]. Причем перламутровка фрейя населяет почти все подходящие болота вдоль дороги водопад Кивач – Сопоха, а фригга была отмечена здесь лишь однажды, в 1980 году. В Финляндии эти виды широко распространены, но обычны лишь в лапландских провинциях [39]. Один из самых многочисленных видов, крушинница *Gonepteryx rhamni*, на востоке, вдоль побережья Белого моря, доходит до северных границ рассматриваемой территории, тогда как на западе его распространение ограничено примерно 65° с. ш. В районе Костомукши это уже редкая бабочка. Сенница *Coenonympha pamphilus* в настоящее время известна лишь из западных, сопредельных с Финляндией районов (Карельский перешеек, Светогорск, Толвоярви, Костомукша, Алакурти), где местами вполне обычна.

## II. ВИДЫ, РАСПРОСТРАНЕННЫЕ НА СЕВЕР ДО 65° С. Ш.

Толстоголовки *Carterocephalus silvicola* и *Thimelicus lineola*, белянки *Leptidea sinapis*, *Aporia crataegi* и *Pieris rapae*, голубянки *Lycaena virgaurea*, *Celastrina argyolus* и *Polyommatus amandus*, нимфалиды *Limenitis populi*, *Nymphalis io*, *Polygonia c-album*, *Arashnia levana*, *Argynnis aglaja* и *Brenthis ino* широко распространены, и многие обычны в южных и центральных провинциях. К северу встречаемость этих видов резко падает, а от

линии Беломорск – Костомукша могут попадаться лишь единичные особи или локальные популяции некоторых из них в антропогенных ландшафтах.

## III. ВИДЫ, РАСПРОСТРАНЕННЫЕ В ПРЕДЕЛАХ СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ (ДО 63° С. Ш.)

Область распространения толстоголовок *Pyrgus malvae* и *Hesperia sylvanus*, нимфалид *Euphydryas maturna*, *Argynnis paphia* и *A. adippe* ограничена южными и центральными провинциями. Другие виды, такие как шашечница *Melitaea athalia*, бархатницы *Pararge maera*, *Aphantopus hyperantus* и *Coenonympha glycerion*, изредка попадают и на юге северной тайги. Дальше других на север проникает капустница *Pieris brassicae*. Однако уже в Прионежье это редкий вид, чаще встречающийся лишь в сельскохозяйственных районах, специализирующихся на выращивании капусты.

## IV. ВИДЫ, РАСПРОСТРАНЕННЫЕ В ЮЖНЫХ ПРОВИНЦИЯХ (ДО 62° С. Ш.) И В ПРИОНЕЖЬЕ

Бабочки этой группы населяют южные провинции и вдоль побережья Онежского озера проникают на север вплоть до северной тайги. Для толстоголовки *Pyrgus alveus*, хвостатки *Nordmannia pruni*, бархатниц *Pararge aegeria* и *Maniola jurtina* характерно локальное распространение, но они известны из большинства районов рассматриваемой территории и в местах своего обитания, как правило, вполне обычны. Голубянка *Glaucopsyche alexis* регулярно встречается на юге [16] и редко в Прионежье: несколько небольших популяций этой бабочки известны с островов архипелага Кижские шхеры и единичные экземпляры – из Медвежьегорска [30], заповедника «Кивач» и Кончезера [9]. Сюда же следует отнести червонца пятнистого *Lycaena phlaeas* и перламутровку *Argynnis niobe*, которые широко распространены в Южной Финляндии, на Карельском перешейке и в Присвирье [16], [23]. Ранее эти виды отмечены также для Олонецкой равнины и Заонежья [30], но сейчас пятнистый червонец известен только из Петрозаводска и Михайловского (А. В. Полевой, личное сообщение), а перламутровка ниоба вовсе отсутствует в современных сборах с территории Республики Карелия. Последнее справедливо и относительно крупноглазки *Hyponephele lycaon*, с той лишь разницей, что после 1936 года вид ни разу не был отмечен и в Финляндии [34]. Выдигранты, такие как белянки *Pontia edusa* и *C. hyale*, в пределах означенной территории приурочены к антропогенным ландшафтам, где чаще всего встречаются вдоль дорог. В некоторые годы второе, «местное» поколение этих бабочек бывает довольно многочисленным. Еще один вид – перламутровка *Issoria lathonia*, который в южной Карелии ранее был обычен [32] и доходил на севере до Калевалы [41], теперь известен по немногим находкам.

## V. ВИДЫ, РАСПРОСТРАНЕННЫЕ В ЮГО-ЗАПАДНЫХ ПРОВИНЦИЯХ (ДО 61° С. Ш.)

Ареалы голубянок *Quercusia quercus*, *Nordmannia w-album* и *Everes argiades*, перламутровки *Argynnis laodice*, бархатниц *Pararge achine*, *Coenonympha hero* и *Hipparchia semele* в той или иной степени охватывают прибалтийские провинции рассматриваемой территории. Здесь эти виды встречаются локально, в основном вдоль их южных границ [20], [31], [36]. Зефир березовый *Thecla betulae*, червонец *Lycaena dispar* и шашечница *Euphydryas aurinia*, помимо юго-западных провинций, известны для Юго-Восточного Приладожья [20], [32], [44], а переливница *Apatura iris* однажды отмечена в окрестностях Петрозаводска [32]. В 2007 году самец *Lycaena dispar* отловлен в Костомукше [42].

## VI. ВИДЫ, РАСПРОСТРАНЕННЫЕ ЛОКАЛЬНО

Толстоголовка *Hesperia comma* известна по современным находкам с Карельского перешейка и из Заонежья, ранее отмечена для Юго-Восточного Приладожья ([32]: Мергега, Важины) и финской части провинции Karelia ladogensis [48]. Аполлон *Parnassius apollo* в XVIII–XIX веках был широко распространен в юго-западных провинциях рассматриваемой территории [13], [27]. Теперь вид встречается очень локально – на о. Гогланд в Балтийском море [20] и в Северном Приладожье. В районе Сортавалы бабочки впервые обнаружены в 1785 году ([14]: о. Килисаари близ Импилахти), последнее упоминание относится к 1995 году ([25]: Кирьявалахти). Мнемозина *Parnassius mnemosyne* обитает в Восточном Приладожье к югу от Салми и в Заонежье, где нередко встречается на островах архипелага Кижские шхеры и местами – по побережью Заонежского полуострова [2], [6]. Помимо этого, вид известен с Карельского перешейка и из Юго-Восточного Прионежья [20], [30]. Голубянки *Cupido minimus* и *Scolitantides orion* известны по нескольким популяциям из Юго-Восточной Финляндии [36], [39], имеются сведения и из Северного Приладожья ([25]: Кирьявалахти). Голубянка *Pseudophilotes vicrama* отмечена по гусенице для Восточного Приладожья ([32]: Видлица). Единственная популяция этого вида известна из финской Карелии, с побережья озера Сайма (Руоколахти). Бабочек в этих местах наблюдали с 1970 года, после 1984 года вид исчез и затем, в 1994 году, был успешно реинтродуцирован [37]. Голубянка *Maculinea arion* встречается в ряде мест Юго-Восточной Финляндии и на Карельском перешейке [29], [36], [39], ранее отмечена для Присвирья ([32]: Важины, Лодейное Поле). Перламутровка *Clossiana thore* обитает на небольшой территории в финской части провинции Karelia borealis вблизи российской границы [36]; имеются сведения о единичных экземплярах с Карельского перешей-

ка [7]. Голубянки *Lycaena helle* и *Aricia nicias*, перламутровка *Clossiana titania* и чернушка *Erebia euryale*, по-видимому, наиболее широко распространенные в Юго-Восточной Фенноскандии виды этой группы. Первый вид отмечен Кайсилой [32] как вполне обычный для многих мест в центральных провинциях Карелии и провинции Karelia ladogensis к северу от линии Деревянное – Салми, известен для всех северных провинций [41]. В последнее время найден лишь в Костомукшском и Кандалакшском заповедниках [1], [29] и в провинции Karelia transonegensis (А. В. Полевой, личное сообщение: Усть-река), в Восточной Финляндии все места обитания вида приурочены к небольшому району на границе с провинцией Karelia pomorica occidentalis [36]. Голубянка *Aricia Nicias*, известная по двум современным находкам (Гомсельга, Великостров), ранее отмечена как вид с умеренной численностью для провинций Karelia onegensis и borealis [32]. Область распространения *Aricia nicias* в Юго-Восточной Фенноскандии, по-видимому, охватывает Восточное, Северное, Северо-Западное Прионежье и провинцию Karelia borealis. В Финляндии за пределами этой провинции вид встречается очень локально [39]. Перламутровка *Clossiana titania*, по данным Кайсилы [32], распространена на Заонежском полуострове, в Северо-Западном Прионежье, Восточном Приладожье и Присвирье. По современным находкам вид известен из финской Карелии [39], Пудожского района (А. В. Полевой, личное сообщение) и района озер Мунозеро и Кончезеро. Чернушка *Erebia euryale* отмечена Кайсилой [32] для территории Петрозаводск – Суоярви – Медвежьегорск и Северного Присвирья (Гижино), отсутствует в Ленинградской области и Финляндии. В последнее время найдены небольшие популяции вида в заповеднике «Кивач» и на юго-восточном побережье Онежского озера (Бесов Нос).

## VII. ВИДЫ, ИЗВЕСТНЫЕ ПО ЕДИНИЧНЫМ НАХОДКАМ

Многоцветницы *Nymphalis polychloros* и *N. vaualbum* изредка попадают на северо-западе Ленинградской области и в сопредельных районах Финляндии. *N. xanthomelas*, помимо этого, отмечена и в Петрозаводске. Толстоголовка *Thimelicus sylvestris*, нимфалиды *Melitaea phoebe* и *Clossiana dia* известны только из Ленинградской области, а белянка *Pontia chloridice* – из Финляндии [12], [31], [36]. По одному экземпляру желтушки *Colias croceus* было отловлено в финской и русской Карелии [32], [34]. Чернушка *Erebia disa* известна из окрестностей Калевалы [35], червонец *Lycaena tityrus* – из Костомукши [42]. Обнаружение последнего вида в северотаежной подзоне следует рассматривать в качестве случайной находки, возможно, артефакта, поскольку его распространение в северном направлении ограничено Южной Эстонией, Псковской и

Новгородской областями. Об экспансии этой бабочки, впрочем, как и червонца *Lucyena dispar*, можно будет говорить лишь в случае повторных отловов в этом или сопредельных районах.

### VIII. ВИДЫ, ИЗВЕСТНЫЕ ИЗ СОПРЕДЕЛЬНЫХ РАЙОНОВ

Крепкоголовка *Heteropterus morpheus* отмечена южнее Невы близ Ладожского озера [31] и на северном побережье Финского залива [36], а голубянка *Everes alcetas* известна из приграничного с Ленинградской областью района финляндской провинции *Savonia australis* [27].

В заключение следует отметить, что состав выделенных групп бабочек потребует ревизий по мере накопления новых сведений. Прежде

всего это касается редких видов в группах IV–VIII, современный статус которых преждевременно рассматривать в качестве окончательного из-за недостатка репрезентативного материала. Помимо этого, существенное влияние на современное распространение многих бабочек оказывают климатические изменения. В течение последних десятилетий отмечается активная экспансия ряда видов в северном направлении [40], [45], соответственно, можно ожидать смещения выделенных границ областей оседлости этих бабочек в Юго-Восточной Фенноскандии.

Мы благодарны А. В. Полевому за сообщения о находках редких видов бабочек в Карелии. Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 08-04-98837 р\_севера.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болотов И. Н., Шутова Е. В. Закономерности формирования островных фаун булавоусых чешуекрылых (Lepidoptera, Diurna) на северном пределе распространения лесов в области плейстоценовых материковых оледенений (на примере островов Белого моря) // Изв. РАН. Сер. биол. 2006. Вып. 3. С. 327–336.
2. Бюллетень экологических исследований на территории Государственного музея-заповедника «Кижь». 2004 г. Петрозаводск: ФГУК «Государственный музей-заповедник “Кижь”», 2005. 40 с.
3. Горбач В. В. К фауне булавоусых чешуекрылых (Lepidoptera: Hesperioidea, Papilionoidea) Карелии. *Karelia borealis* // Биоразнообразие Европейского Севера: теоретические основы изучения, социально-правовые аспекты использования и охраны: Тез. докл. конф. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. С. 47.
4. Гюнтер А. К. Список чешуекрылых, найденных в Олонецкой губернии // Изв. СПб. биол. лаб. 1896. Т. 1. Вып. 3. С. 21–33.
5. Державец Ю. А., Иванов А. И., Миронов В. Г., Мищенко О. А., Прасолов В. Н., Синёв С. Ю. Список чешуекрылых (Macrolepidoptera) Ленинградской области // Фауна чешуекрылых (Lepidoptera) СССР. Тр. ВЭО. Т. 67. Л.: Наука, 1986. С. 186–270.
6. Кабанен Д. Н., Горбач В. В. Особенности пространственного размещения и взаимодействия внутривидовых группировок мнемозины (*Parnassius mnemosyne*) в условиях Заонежья // Вопросы популяционной экологии: Тр. ПетрГУ. Серия биол. Вып. 2. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2008. С. 68–78.
7. Кожанчиков И. В. Новое в изучении фауны и экологии чешуекрылых Карельского перешейка // Тр. ЗИН АН СССР. 1958. Т. 24. С. 3–88.
8. Красная книга природы Ленинградской области. Т. 3. Животные. СПб.: Мир и Семья, 2002. 479 с.
9. Красная книга Республики Карелия. Петрозаводск: Карелия, 2007. 368 с.
10. Куликов В. С. Где юго-восточная граница Фенноскандии? // Докл. АН. 1997. Т. 356. Вып. 4. С. 545–547.
11. Кутенкова Н. Н. Чешуекрылые (Lepidoptera) заповедника «Кивач» // Флора и фауна заповедников СССР. М., 1989. 59 с.
12. Кутенкова Н. Н. Виды Macrolepidoptera, новые для Карелии после 1950 года // Природа государственного заповедника «Кивач»: Тр. КарНЦ РАН. Вып. 10. Петрозаводск, 2006. С. 63–70.
13. Львовский А. Л., Моргун Д. В. Булавоусые чешуекрылые Восточной Европы. М.: Т-во научных изданий КМК, 2007. 443 с.
14. Озерцовский Н. Я. Путешествие по озерам Ладожскому и Онежскому. Петрозаводск: Карелия, 1989. 208 с.
15. Полевой А. В., Хумала А. Э. Насекомые // Материалы инвентаризации природных комплексов и научное обоснование ландшафтного заказника «Сыроватка». Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. С. 67–72.
16. Полевой А. В., Хумала А. Э. Насекомые // Природные комплексы Вепсской волости: особенности, современное состояние, охрана и использование. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2005. С. 172–186.
17. Полевой А. В., Хумала А. Э. Насекомые // Материалы инвентаризации природных комплексов и природоохранная оценка территории «Чукозеро». Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 85–89, 134–136.
18. Полевой А. В., Хумала А. Э., Яковлев Е. Б. Итоги изучения энтомофауны Кижских шхер за десятилетний период (1994–2003) // 10 лет экологическому мониторингу музея-заповедника «Кижь». Итоги, проблемы, перспективы. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2005. С. 101–119.
19. Свиридов А. В. Чешуекрылые (Lepidoptera, Macrolepidoptera) окрестностей Беломорской биологической станции Московского государственного университета и их стациальное распределение // Энтومол. обзор. 1970. Т. 49. Вып. 3. С. 365–572.
20. Цветков Е. В. Булавоусые чешуекрылые Санкт-Петербурга и Ленинградской области [Электронный ресурс]. СПб., 2005. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
21. Шутова Е. В., Антонова Е. М., Свиридов А. В., Кутенкова Н. Н. Чешуекрылые Кандалакшского заповедника // Флора и фауна заповедников СССР. Вып. 80. М., 1999. 48 с.
22. Хумала А. Э. Изучение энтомофауны островных экосистем Онежской губы Белого моря // Природное и культурное наследие Северной Фенноскандии: Материалы междунар. конф. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. С. 83–89.
23. Хумала А. Э., Полевой А. В. К фауне насекомых Карельского побережья и островов Белого моря // Инвентаризация и изучение биологического разнообразия на Карельском побережье Белого моря. Петрозаводск, 1999. С. 106–113.

24. Яковлев Е. Б., Хумала А. Э., Полевой А. В. Насекомые // Инвентаризация и изучение биологического разнообразия на территории центральной Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2001. С. 149–158.
25. Aarnio H., Ojalainen P. Niityt kirjovat Karjalaa // Suomen Luonto. 1995. № 9. S. 22–25.
26. Ahti T., Hämmet-Ahti L., Jalas J. Vegetation zones and their sections in northwestern Europe // Ann. Bot. Fenn. 1968. Vol. 5. P. 169–211.
27. Eliasson C. U., Ryrholm N., Holmer M., Jilg K., Gardenfors U. Nationalnyckeln till Sveriges flora och fauna. Fjarilar: Dagfjarilar, Hesperioidea–Nymphalidae. Uppsala: ArtDatabanken, SLU, 2005. 407 p.
28. Gorbach V. V., Saarinen K. The butterfly assemblages of Onega Lake Area in Karelia, middle taiga of NW Russia (Hesperioidea, Papilionoidea) // Nota lepid. 2003. Vol. 25. P. 267–279.
29. Heikkilä R., Lindholm T. Biodiversity and conservation of boreal nature. Kainuu, 2003. P. 187–192.
30. Humala A. E. New findings of *Parnassius mnemosyne* Linnaeus (Lepidoptera, Papilionidae) in Russian Karelia // Entomol. Fenn. 1997. Vol. 8. № 4. P. 224.
31. Ivanov A. I., Matov A. Yu., Khramov B. A., Grigorev G. A., Mironov V. G., Mishchenko O. A. Artenverzeichnis der Macrolepidoptera von Sankt-Petersburg und des Sankt-Petersburger Gebietes nach Aufsammlungen in den Jahren 1960–1998 // Atalanta. 1999. Bd. 30. Hf. 1–4. S. 293–356.
32. Kaisila J. Die Macrolepidopteren Fauna des Aunns – Gebietes // Acta Entomol. Fenn. 1947. Bd. 1. Hf. 1. 112 s.
33. Leinonen R., Itamies J., Kutenkova N. Lepidoptera of the Nature Reserve Friendship // Ecosystems, fauna and flora of the Finnish-Russian Nature Reserve Friendship. Helsinki: The Finnish Environment, 1997. P. 235–256.
34. Marttila O., Aarnio H., Haahtela T., Ojalainen P. Suomen päiväperhoset. Toinen, täydennetty pianos. Helsinki: Kirjayhtymä, 1991. 362 p.
35. Marttila O., Haahtela T., Aarnio H., Ojalainen P. Päiväperhosopas. Helsinki: Kirjayhtymä, 1992. 150 p.
36. Marttila O., Saarinen K., Aarnio H., Haahtela T., Ojalainen P. Päiväperhosopas. Suomi ja lähialueet. Helsinki: Tammi, 2000. 231 p.
37. Marttila O., Saarinen K., Jantunen J. Habitat restoration and a successful reintroduction of the endangered Baton Blue butterfly (*Pseudophilotes baton schiffermuelleri*) in SE Finland // Ann. Zool. Fenn. 1997. Vol. 34. P. 177–185.
38. Marttila O., Saarinen K., Jantunen J. The national butterfly recording scheme in Finland: first seven-year period 1991–1997 // Nota lepid. 1999. Vol. 22. P. 17–34.
39. Marttila O., Saarinen K., Lahti T. Valtakunnallinen päiväperhosseuranta – Ensimmäisen 10-vuotisjakson (1991–2000) tulokset // Baptria. 2001. Vol. 26. № 2. P. 29–65.
40. Parmesan C., Ryrholm N., Stefanescu C., Hill J. K., Thomas C. D., Descimon H., Huntley B., Kaila L., Kullberg J., Tammaru T., Tennet W. J., Thomas J. A., Warren M. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming // Nature. 1999. Vol. 399. P. 579–583.
41. Peltonen O. Vienan perhosfaunasta // Ann. Entomol. Fenn. 1947. Vol. 13. № 3. S. 131–144.
42. Saarinen K., Gorbach V. V. Erikaisia kultasiipiä itärajan tuntumassa // Baptria. 2007. Vol. 32. № 1. P. 15.
43. Saarinen K., Jantunen J., Gorbach V. V. Päiväperhoset Suomen and Venäjän Karjalan maatalousympäristöissä // Baptria. 2002. Vol. 27. № 3. C. 69–75.
44. Saarinen K., Jantunen J., Kuitunen K., Marttila O. Ihmistoiminnan vaikutus Suomen ja Venäjän Karjalan luontoympäristöön (KARMI). Raportti 3. Päiväperhoset, toinen tutkimusvuosi 1998. Joutseno: Karjalan ympäristötieteen laitos, 1998. 19 s.
45. Saarinen K., Lahti T., Marttila O. Population trends of Finnish butterflies (Lepidoptera: Hesperioidea, Papilionoidea) in 1991–2000 // Biodiversity and Conservation. 2003. Vol. 12. P. 2147–2159.
46. Sievers I. C. Verzeichniss der Schmetterlinge des St.-Petersburger Gouvernements // Тр. рус. энтомол. общ. 1863. Т. 2. С. 133–160.
47. Sievers I. C. Verzeichniss der Schmetterlinge des St.-Petersburger Gouvernements // Тр. Рус. энтомол. общ. 1866. Т. 4a. С. 49–77.
48. Sotavalta O. Provincial distribution of Finnish Macrolepidoptera // Notul. Entomol. 1987. Vol. 67. № 4. P. 187–205.
49. Tengström J. M. J. Catalogus Lepidopterum Faunae Fennicae praecursorius // Notus Salssk. Fauna et Flora Fenn. 1869. Bd. 10. Hf. 7. S. 287–370.

УДК 573.22

**АНДРЕЙ ВИКТОРОВИЧ КОРОСОВ**

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

### **ПРИНЦИП ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОСИСТЕМ**

Знание целесообразно, но не истинно. Различные (порой скрытые) цели придают описаниям биосистемы и ее модели определенную структуру. Исходя из разных целей для одного и того же биолого-экологического феномена можно разработать разные схемы модельного описания. Одна из задач моделирования – по возможности выявлять все цели этого процесса и выбирать действительно необходимые.

Ключевые слова: системный подход, моделирование, целесообразность

Цель научного биологического исследования состоит в поиске закономерностей, для которых наиболее конкретной и ясной формой выражения выступает количественная модель. Модельные коэффициенты пропорциональности (параметры) могут получить биологическую интерпретацию как ключевые характеристики функционирования биосистемы. К сожалению, практика моделирования все еще слабо развита в среде эколого-биологических исследований. Причина, на наш взгляд, состоит в недоверии биологов к возможностям математики показать нечто большее, чем видно непосредственно по результатам простейших количественных обобщений. Иными словами, причина – в непонимании данного инструмента исследования. В этой связи мы видим смысл в популяризации *системного подхода*, последовательное проведение которого не только приводит к конструированию количественной модели изучаемого явления, но и к существенно более стройному структурированию имеющейся информации, к более глубокому пониманию самой проблемы,

возможности выражать биологическое знание в точных числовых утверждениях [13].

Системный подход (как общенаучную методологию) можно представить в виде семи принципов мышления (системности, целесообразности, организации, иерархии, эмерджентности, целостности, развития), первый из которых был детально рассмотрен нами ранее [14]; на очереди – второй. Смысл настоящего сообщения состоит в том, чтобы продемонстрировать разнообразие целевых установок на разных этапах модельного исследования биосистем.

Принцип целесообразности можно сформулировать так:

*Границы, содержание и поведение системы определяются целью.*

*Система – это тот специально ограниченный набор взаимосвязанных объектов (элементов), с помощью которого достигается определенная цель.*

Эти определения имеют двоякий смысл. С одной стороны, они относятся к природным объектам (биосистемам), существование кото-

рых поддерживается благодаря их «целесообразной» конструкции и функционированию. Система – это то, что выполняет функцию. Внешне эта функция выглядит как цель, то, «для чего» существует система. Системная функция предписывает системе определенный состав (структуру) и динамику (организацию). Система состоит только из тех элементов, которые участвуют в выполняемой функции. Однако эти онтологические определения не только не точны, но и прямо мешают выполнять процедуры моделирования [15].

Принцип целесообразности вскрывает технологию процесса познания объекта природы, обеспечивая эффективное (в том числе и практическое) системное его описание. «Система есть средство достижения цели» [25; 68]. Этот тезис логически вытекает из принципа системности: коль скоро система есть алгоритм мысли об объектах природы [14], то композиция системы в первую очередь должна определяться причиной, вызывающей эту мысль, то есть целью размышления о биосистеме. Таким образом, на структуру представления объекта природы (на его фрейм и модель) накладывает отпечаток не только строение и динамика самого познаваемого объекта, но и средства его описания, обусловленные имеющейся информацией и доминирующей теорией (парадигмой). В состав моделируемой системы включают только те элементы, которые, *на наш взгляд*, и осуществляют системную функцию. Системное описание биологического объекта (в форме фрейма или модели) всегда неполно, тенденциозно, но целесообразно.

Итак, чтобы изучить целесообразное поведение биосистем, следует построить их целесообразные модели – но в первую очередь необходимо явно отделить видные нам «цели» природных объектов от «целей» исследователя. (В скобках следует заметить, что термин «целесообразность» в бытовом понимании ближе к понятию «практичность». В нашем изложении термин более соответствует понятию «целенаправленность», когда структура и поведение объекта «сообразуются» с некоторой предзаданной целью.)

## ПРИРОДНАЯ ДИНАМИКА

В отношении объектов природы понятие цели используется в том случае, если это бихевиоральные (и социальные) системы, имеющие центр организации поведения – мозг [27]. Для биосистем, не имеющих специфических центров управления, применим термин *объективной цели*. «У естественных неодушевленных систем есть только объективные цели... Будущее реальное состояние системы мы представляем себе как ее объективную цель» [25; 101]. «У компенсации есть “цель”. Ею является конечное нормальное функционирование, то есть получение определенного приспособительного результата» [1; 24]. Факт существования биосистемы означа-

ет, что она достигает свои цели, то есть приспособлена к среде; факт элиминации означает, что цель не достигнута. Критерием достижения цели служит «приспособительный результат», способность пройти естественный отбор.

В более широком плане можно говорить о следующих четырех формах природных процессов. 1. Порождение разнообразных условий и факторов среды, с которыми сталкиваются особи (осуществляется в пределах биогеоценоза и биосферы). 2. Развитие, онтогенез особей (формирование сомы и функций). 3. Функционирование особей популяции (включая процессы размножения). 4. Естественный отбор особей (выживание потомков особей в данной среде).

В биогеоценозе *формирование* абиотических факторов определяется физико-химическими и геолого-географическими процессами, не требующими для своего описания понятия целесообразности. «Физика... не знает ничего о цели» [6; 232]. В *функционировании биотической части* биогеоценоза можно усмотреть объективную цель в виде «стремления» всех видовых популяций ценоза к неограниченному росту и возникающей на этой базе конкуренции, ведущей к полноценному использованию ресурсов среды. Так формируется та или иная динамическая структура доминирования в ценозе, в целом независимая от конкретного видового состава – идентичное строение могут иметь сообщества, состоящие из разных видов [31]. С одной стороны, формирование ценоза из видов, обладающих разными «врожденными» способностями, есть чисто стохастический (комбинаторный, «физический») процесс, который не должен поэтому ассоциироваться с «целью» ценоза. С другой стороны, само возникновение видов, утилизирующих свободные ресурсы (осваивающих незанятые ниши), есть эволюционный адаптивный и поэтому – объективно целесообразный процесс. (Более детальное рассмотрение адаптивных черт биоценозов и популяций выходит за рамки статьи.) Для описания подобной «целесообразной» стабилизации экологических характеристик сообщества или популяции часто эффективно используется телеономическая терминология вроде «для того чтобы выжить, популяция должна...», а в математические формулы вводятся такие телеономические конструкции, как максимальная плотность популяции,  $K$  (уравнение Лоттки-Вольтерра [8]), эффективная численность популяции [29], доступный объем энергии [3] и др. По большому счету, любая биологическая константа представляет собой реализованную цель – конечную характеристику целесообразной биосистемы.

*Онтогенез* есть по большей части реализация наследственной информации, заложенной в геноме и цитоплазме зиготы, модифицированной условиями среды. Его объективная цель «материально» выражена набором наследственных факторов и является в форме адаптированного

организма, целесообразно реагирующего на внешние факторы на любой стадии своего развития. «Цель» онтогенеза гораздо более отчетливо задана, чем «цели» ценоза или популяции. В экологических исследованиях описание онтогенеза обычно ограничивается характеристикой аллометрических законов роста тела особей [22] и их частей [33] в форме уравнений регрессии. При этом также иногда бывают полезными такие телеономические конструкции, как «максимальный размер особи»,  $W_{\infty}$  [18].

*Функционирование* особи отчетливо целесообразно, если обеспечивает ее существование. Эта цель предписывается самим строением биосистемы. Птица летит, рыба плавает, сердце перекачивает кровь – цель функционирования состоит в автономной реализации возможностей данной конструкции биосистемы (органа, организма, популяции). Функционирование есть постоянный процесс реагирования организма на изменение внешних и внутренних факторов (толерантность и гомеостаз). Реактивность есть внутреннее качество изучаемой биосистемы, прямое следствие ее устройства. Таким образом, цель организации – осуществлять потенции своей организации. «...Внутренняя цель может быть инструктирована просто как программа поведения, обеспечивающая стабильность системы относительно параметров выживания» [27; 101]. «Цель системы – некоторая область в пространстве состояний, которую необходимо достичь в процессе функционирования» [32; 121]. «Биологическая система не может самостоятельно определить свое назначение или цель, но она может выбрать функции для достижения запрограммированной цели» [28; 77]. Такое понимание приближает нас к формулировке целей моделирования, имеющей яркое телеономическое звучание. Например, при формальном описании гомеостаза и поведения в качестве цели выступает некое «штатное» (нормальное) значение важной характеристики внутренней среды, на поддержание которой направлено функционирование биосистемы [14]. Примерами таких величин являются температура тела гомойотермных животных, концентрация углекислоты и глюкозы в крови и пр. Рассматривая любое явление более широко, нельзя не увидеть, что естественное разнообразие особей выполняет множественность реализаций видового типа гомеостаза. Это значит, в частности, что для описания «видовой цели» следует применять статистическую характеристику.

Процесс *естественного отбора* (в контексте изложенного выше) состоит в том, что далеко не все особи (варианты реализации организменной жизни) в конечном итоге адаптивны, то есть способны выжить и успешно размножиться. Множество особей не может оставить свой генетический след в будущих поколениях популяции. В этом контексте лишь часть особей достигает эволюционных целей, другая же – не дости-

гает, элиминируется. Естественный отбор протекает в среде биогеоценоза, которая сама по себе не постоянна, изменчива. Это значит, что требования, предъявляемые к организмам, постоянно меняются, как и векторы отбора. Иными словами, для особей отсутствует постоянная однозначная эволюционная цель. Возможность достижения цели обеспечивается диапазоном адаптивного реагирования. Выход уровня внешних факторов за рамки этого толерантного диапазона ведет к элиминации особей, их цели функционирования не достигаются. Экологи очень редко обращаются к практике моделирования с учетом естественного отбора [21]. В большой степени это оправданно, поскольку эволюционные процессы собственно экология не изучает. В то же время без учета эффектов отбора описание естественных биосистем становится неверным. Например, обычная практика экологического исследования популяций состоит в том, чтобы изученные в природе характеристики всех особей популяции включать в общую выборку и вычислять общие статистические параметры, считая их нормой. Однако часть особей, отловленных из общей совокупности, не смогла бы пройти отбор (погибла бы до размножения). Следовательно, в действительности эта часть выборки не представляет норму функционирования вида – это не адаптивные, *не целесообразные* формы, которые поэтому не могут представлять филум (эволюционирующий вид). Исправить эту некорректность можно только явно разделяя целесообразных и нецелесообразных особей и изучая их по отдельности; примеры тому есть в литературе [34].

Представленные четыре аспекта видения объектов природы с точки зрения их целевых устремлений, естественно, не исчерпывают проблемы целесообразности жизни. Мы стремились лишь показать, что интерпретация любых природных явлений может включать понятие цели. В то же время данное описание живого принято с неявно заданных позиций синтетической теории эволюции. С точки зрения номогенеза, игнорирующего отбор как эволюционный фактор [4], те же феномены получили бы совсем другую интерпретацию [19]. Взяв на вооружение разные парадигмы, исследователи будут строить отличающиеся словесные описания. Создавая модель, то есть придавая количественную форму неким (в том числе представленным выше) биологическим высказываниям, следует помнить, что эта модель унаследует теоретический образ биосистемы. Следование распространной на данный момент теории всегда выступает в роли одной из целей исследования.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ

Одним из простых и эффективных способов детального количественного описания динамики биосистем является построение имитационных моделей в среде Excel [12], [23]. Генеральная

цель такого моделирования состоит в вычислении значений коэффициентов пропорциональности, выражающих важные соотношения между компонентами моделируемой биосистемы и имеющих отчетливые биологические интерпретации. Структура процесса моделирования достаточно сложна, причем не столько в техническом отношении (Excel максимально упрощает задачу), сколько в идеологическом – нужно отчетливо представлять себе цели всех этапов работы. Наша задача состоит не в детальном описании алгоритма построения моделей (см. подробнее [13]), но в выявлении скрытых целей этого процесса. Их подразделение мы построили по схеме, принятой выше для природных эволюционирующих объектов.

1. Формирование массива исходных данных.
2. Подбор вариантов конструкций и построение (перестройка) модели.
3. Реализация (расчеты по) модели.
4. Настройка параметров модели (методом подбора).

*Массив исходных данных* должен хорошо соответствовать изучаемому процессу, в явной форме (или через градации) отображать состояния биосистемы, стадии ее развития, внутреннюю дифференциацию на компоненты (виды, популяции, группы, особи) и природное окружение (факторы среды). Здесь рассматривается только моделирование, то есть предполагается, что тема, содержательные задачи научного исследования, выбор парадигмы для ее решения, общее описание процесса выполнены ранее. Понятно, что в формулировании научного вопроса заложен механизм целеполагания, определено направление, в котором должна двигаться исследовательская мысль. «...Умный вопрос – это уже добрая половина знания. Ведь Платон правильно говорит: “Тот, кто о чем-то спрашивает, уже представляет себе в самом общем виде то, о чем он спрашивает, а иначе как бы он смог узнать правильность ответа, когда он будет найден”» [5; 298]. Тем более важно подобрать такие массивы данных, которые затем однозначно должны воспроизвести модель. Цель этого этапа состоит по сути в подготовке результатов моделирования. «Целями являются предпочитаемые исходы...» [28; 70]. При подборе и фильтрации эмпирических данных подспудно решается вопрос, какой должна быть модель, чтобы воспроизвести имеющуюся информацию. По сути дела, располагая набором эмпирических данных, мы имеем решение, не зная пути к нему. Моделирование есть поэтому «регрессивное рассуждение», при котором «исходным пунктом анализа является то, что требуется доказать, ибо допускается, что задача уже решена...» (Папп, цит. по: [26; 136]). Подготовка данных для моделирования есть особый, важнейший этап, во многом определяющий его успешность. Подбирая данные, мы придаем цель всему процессу исследования, в явной форме обозначаем то, к чему должна свестись эта работа. Данная цель предопределяет весь процесс

детального исследования системного объекта. «Единством цели... объясняется то, что, приобретая знания, нельзя упустить из виду ни одной части, а также нельзя сделать никакого случайного добавления или остановиться на неопределенной величине совершенства, не имеющей а priori определенных границ. ...Целое расчленимо, а не нагромождено. ...Полное целесообразное единство есть совершенство» [11; 486, 413]. (Важные соображения о финансовой и ресурсной стоимости исследовательских работ хоть и влияют на целеполагание, но не относятся собственно к логике моделирования.)

*Построение модели* (и обычно последующая ее перестройка) есть, с одной стороны, чисто технический процесс (ввод формул и данных в среду ПК). В то же время это глубокий и сложный системный процесс разработки блок-схемы и алгоритма модели. *Множество возможных формул* должно быть подобрано, исходя из имеющейся парадигмы и опыта решения аналогичных задач. Создание формализованного (блок-схема) и количественного (формулы) вариантов требует четкого понимания того, какие компоненты модели могут в ближайшем будущем измениться, какие должны обрести биологический смысл. Общее влияние цели на системное мышление (на реализацию системных принципов) состоит в том, что исследователь последовательно рассматривает разные варианты описания системы – включать или не включать те или иные элементы в модель, учитывать или не учитывать тот или иной уровень иерархии и т. п. Процесс конструирования модели – это процесс выбора альтернативных путей. Общее направление этапа постройки и перестройки определяет цель – создание в недрах компьютера работающей модели (множества формул, правильно выполняющих расчеты). (Имитационную систему невозможно построить, если не проводить предварительные расчеты, отлаживая обязательные связи между компонентами – формулами и данными, не обращая пока внимания на собственно результаты счета.) Здесь важно отметить следующее. Поскольку наши знания не могут безусловно претендовать на соответствие природе [15], одно и то же явление позволительно описывать с помощью самых разных типов моделей. Например, для изучения закономерностей динамики популяций мелких млекопитающих временной ряд численности можно разложить на гармоники [10], разделить на зимний и летний этапы функционирования [17] или представить множеством параллельных зависимых траекторий существования групп разновозрастных животных [13]. Таким образом, апробированный опыт автора есть одна из неявных целей моделирования.

*Расчеты по модели* – это отдельный процесс, хотя он осуществляется и на 2-м, и на 3-м этапах моделирования. Основываясь на внешней информации о состоянии среды и на стартовых

(начальных) характеристиках изучаемой биосистемы, модель призвана вычислить некие значения, которые далее интерпретируются как модельные аналоги признаков, наблюдаемых в природе. «Под моделью некоторого объекта понимается другой объект... который обладает существенными для целей моделирования свойствами и в рамках этих целей полностью заменяет исходный объект» [7; 12]. «Назначение любой из моделей организации поведения... чтобы их “поведение” воспроизводило то, что мы наблюдаем в действительности» [20; 141]. Как и в случае с функционированием организма, модель выдает только то, что она может вычислить, на что ориентирована ее конструкция. Ее объективная цель состоит в самореализации. «Общая характеристика особенности функционирования и структуры систем... < – это> наличие... целей функционирования систем, которые определяют ее целевое назначение» [30; 9]. Цель модели состоит в том, чтобы функционировать (причем по возможности так же, как и ее реальный прототип). При этом простые детерминистические (алгебраические) модели дают в прогнозах одинаковые результаты. В более сложных стохастических и автоматных моделях однозначного воспроизведения результатов не наблюдается (при одинаковых стартовых значениях). В такие модели конструктивно заложена некоторая автономность траекторий жизни, имманентная изменчивость. Определенную свободу функционирования можно придать и алгебраическим моделям, если вносить в расчеты белый шум или варьировать объемы исходной информации. Однако стохастические модели должны давать статистически однородные результаты.

*Настройка параметров* (и структуры) модели во многом аналогична отбору (искусственному). Содержание процесса моделирования – это воплощения характеристик реального объекта в характеристики идеального объекта, перенос особых черт строения и функционирования с прообраза на электронный дубликат. В математическом смысле *цель* процедуры сводится к тому, чтобы из множества возможных значений отобрать такие коэффициенты пропорциональности в модельных формулах, чтобы расчетный и эмпирический массивы данных по возможности совпали. С помощью специальных математических алгоритмов (обычно – оптимизации) параметры модели многократно и направленно модифицируются, и на каждом таком шаге проверяется соответствие двух массивов значений переменных – рассчитанных моделью и наблюдавшихся в природе. «Цель действий состоит в том, чтобы свести к минимуму промежутки... между существующей и желаемой системой...» [24; 92]. Предполагается, что хорошее соответствие этих массивов позволяет осмысленно интерпретировать модельные параметры, то есть дает понимание законов функционирования (*какой-то определенной стороны*) реальной биосистемы. Различие

между наблюдениями и прогнозами по модели количественно оценивается. «В основу <моделирования> могут быть положены разные критерии подобия, основным из которых является изоморфизм» [2; 10]. «Критерий является средством, с помощью которого измеряются или выбираются альтернативы... Критерий есть стандарт, с помощью которого может быть вынесено суждение об относительной выгоде выбора» [24; 181]. Одни критерии, встроенные в процедуру проверки соответствия, служат для автоматического перебора и поиска лучших значений модельных параметров в процессе *количественной настройки*. Другие критерии оценивают общую адекватность модели наблюдаемым данным и являются основаниями для вывода о том, соответствует ли сама конструкция модельных формул объекту исследования, нужна ли *структурная перестройка* модели – возврат на второй этап (задачи идентификации). Наконец, третья группа критериев позволяет делать вывод о том, в состоянии ли данная модель описывать весь класс явлений, представленных объектом исследования (задачи верификации) [9]. Здесь возникает проблема точности всех этих критериев, целесообразность введения жестких или относительно мягких требований к модели. Основой для решения этого вопроса служит предварительное статистическое исследование феномена. Обычно в связи с высокой сложностью организации биосистем от биолого-экологических моделей не ожидается высокой точности. Можно полагать, что параметры модели обретают биологический смысл, когда коэффициент детерминации становится выше 0.6 (лучше – около 0.8). Даже если модель оказалась неадекватной, сама попытка ее построения всегда улучшает общее понимание научной проблемы и служит основанием для новых теоретических формулировок. В конце концов, основная цель научного исследования – приближение к знанию законов природы, а неудачные модели являются неизбежными шагами в этом направлении. Иными словами, вопрос об успешности исследования решается с привлечением дополнительных критериев. «...Случаи, когда единственный критерий удачно отображает цель, скорее исключения» [25; 319].

Если построенная модель соответствует выбранным критериям, то можно считать, что цель достигнута – технический процесс моделирования завершен. Теперь остается дать ее интерпретацию, теоретическое объяснение полученных коэффициентам пропорциональности – параметрам модели. Именно параметры являются важнейшим результатом модельного исследования, поскольку они с максимальной определенностью характеризуют изучаемый процесс. Эти показатели используются для придания большей определенности ранее построенным теоретическим конструкциям. Процесс интерпретации естественно включается в ранее построенную схему системного исследования [15] (рис. 1, 4).

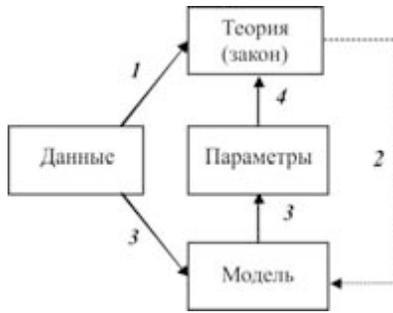


Рис. 1. Логическая схема модельного исследования:

- 1 – Обобщение накопленных данных в форме первичных гипотез и теорий.
- 2 – Построение структуры моделей.
- 3 – Настройка модели (оценка параметров).
- 4 – Интерпретация параметров модели, включение в теорию.

В качестве примера можно рассмотреть наши исследования по термобиологии обыкновенной гадюки [16]. Теоретически понятная картина (пойкилотермная рептилия нагревается на солнце до оптимальных температур, чтобы активизировать обменные процессы) была существенно дополнена несколькими точно оцененными модельными параметрами (максимальная и минимальная добровольная температура, температурная чувствительность). В результате изменились и теоретические представления об этом процессе. Максимальная температура тела гадюки (35 °С), изредка наблюдаемая в природе, не является в норме оптимальной, но выполняет роль целевого параметра, к которому животное стремится, но достичь которого в условиях Карелии не может. Однако само стремление к этому порогу обеспечивает поддержание температуры тела на оптимальном уровне (28–30 °С).

Дальнейшая работа с моделью состоит в том, чтобы выяснить, как она реагирует на варьирование исходных данных или значений параметров. Этот этап называют «модельный эксперимент». Модель выступает полным заместителем природного объекта и характеризует его возможную реакцию на разного рода «возмущения среды». В нашем примере были исследованы кривые динамики температуры тела разновозрастных и разнополых животных, терморегуляторное поведение которых, как выяснилось, контролируется только одним названным параметром, максимальной добровольной температурой (у взрослых она выше, у молодых ниже, у беременных самок выше всех) [16].

Здесь появляется возможность для наиболее интересного варианта интерпретации – получить прогноз поведения биосистемы при определенном воздействии. Модельные эксперименты могут послужить прообразом тех действий, которые затем в реальности позволяют оптимизировать биосистему (рис. 2).

Эта схема соответствует и прикладным проблемам экологии, если в качестве объекта исследования рассматривать угрожаемые экосистемы и процессы антропогенного вмешательства в природу.



Рис. 2. Соотношение целей системы и модели в процессе моделирования:

- А – существование системы,
- Б – целесообразная проекция структуры системы на структуру модели,
- а – существование модели,
- в – улучшение состояния модели после экспериментального воздействия,
- б – проекция поведения модели на поведение системы.
- В – улучшение состояния системы после воздействия по рекомендациям моделирования.

В заключение следует еще раз подчеркнуть, что на любое системное представление объекта исследования (в форме фрейма и модели) накладывают свой отпечаток как объективные цели изучаемой биосистемы, так и собственные (часто непонятые) цели исследования.

Чаще всего наблюдается бессознательное подчинение доминирующей парадигме. Для создания оригинальных моделей необходимо ознакомиться с разнообразными взглядами на предмет исследований, с разными теориями, концепциями, подходами, то есть явно определиться с собственными теоретическими воззрениями.

Не менее обычно и стремление описать «очевидные» объективные «биологические цели», которые видны при поверхностном (привычном, традиционном) подходе к биологическим процессам. Для того чтобы разработать наиболее адекватный фрейм биосистемы, следует выполнить полноценное системное исследование – рассмотреть разные уровни иерархии объектов и процессов, способы интеграции и поддержания целостности, гомеостаза, выявить эмерджентности и т. п.

Наконец, предзаданной целевой установкой является использование привычных приемов моделирования. Чтобы не ограничивать себя в средствах моделирования, важно изучить различные его методы, в том числе криволинейную регрессию, многомерную статистику, анализ временных рядов, методы шкалирования, алгебраические и стохастические имитационные модели, автоматы, фракталы и пр. и на этой основе выбрать подходящую основу для формализации.

Практика целеполагания при моделировании состоит в том, чтобы выявлять и записывать все возможные цели исследования и только после этого анализа определяться со списком действительно важных целей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анохин П. К. Системные механизмы высшей нервной деятельности. М.: Наука, 1979. 453 с.
2. Антомонов Ю. Г. Моделирование биологических систем: Справочник. Киев: Наукова думка, 1977. 260 с.
3. Беловски Г. Е. Модели выживания и продолжительность существования популяций // Жизнеспособность популяций. Природоохранные аспекты. М.: Мир, 1989. С. 53–80.
4. Берг Л. С. Труды по теории эволюции. 1922–1930. Л.: Наука, 1977. 387 с.
5. Бэкон Ф. Сочинения: В 2 т. Т. 1. О достоинстве и приумножении наук. М.: Мысль, 1977. 567 с.
6. Винер Н. Творец и Голем, INC // Винер Н. Творец и будущее. М.: Изд-во АСТ, 2003. С. 225–292.
7. Гаазе-Раппопорт М. Г., Поспелов Д. А. От амебы до робота: Модели поведения. М.: Наука, 1987. 288 с.
8. Гиляров А. М. Динамика численности пресноводных планктонных ракообразных. М.: Наука, 1987. 190 с.
9. Иванищев В. В., Михайлов В. В., Тубольцева В. В. Инженерная экология. Л.: Наука, 1989. 144 с.
10. Ивантер Э. В., Коросов А. В., Якимова А. Е. Статистический анализ многолетних изменений численности мелких млекопитающих северо-восточного Приладожья // Вопросы популяционной биологии. Труды ПетрГУ. Сер. биол. Вып. 2. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2008. С. 5–24.
11. Кант И. Критика чистого разума. М.: Мысль, 1994. 591 с.
12. Коросов А. В. Имитация экологических объектов в среде пакета Microsoft Excel // Экология. 2002. № 2. С. 144–147.
13. Коросов А. В. Имитационное моделирование в среде MS Excel (на примерах из экологии). Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2002. 212 с. (<http://elibrary.karelia.ru/book.shtml?levelID=017002&id=612&cType=1>)
14. Коросов А. В. Двухконтурная отрицательная обратная связь и модель терморегуляции гадюки // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. Естественные и технические науки. 2008. № 1. С. 74–82.
15. Коросов А. В. Системы и экосистемы // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. Естественные и технические науки. 2008. № 2. С. 58–67.
16. Коросов А. В. Простая модель баскинга обыкновенной гадюки (*Vipera berus* L.) // Современная герпетология. 2008. Т. 8. Вып. 2. С. 118–136.
17. Коросов А. В., Зорина А. А. Исследование динамики численности рыжей полевки с помощью функций последования // Экология. 2007. № 1. С. 49–54.
18. Криксунов Е. А. Теория динамики промыслового стада рыб. М.: Изд-во МГУ, 1991. 77 с.
19. Любищев А. А. Проблемы формы, систематики и эволюции организмов. М.: Наука, 1980. 280 с.
20. Меннинг О. Поведение животных. Вводный курс. М.: Мир, 1982. 360 с.
21. Меншуткин В. В. Эволюционный подход к имитационному моделированию популяций // Математические методы в экологии: Тезисы докладов Третьей Всероссийской школы молодых ученых. Петрозаводск, 24–29 августа 2008 г. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. С. 21–23.
22. Мина М. В., Клевезаль Г. А. Рост животных. Анализ на уровне организма. М.: Наука, 1976. 291 с.
23. Мосияш С. С., Шашуловский В. А. Использование итерационного моделирования для прогнозирования допустимой промысловой эксплуатации популяции рыб // Поволжский экологический журнал. 2003. № 2. С. 190–194.
24. Оптнер С. Л. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. М.: Советское радио, 1969. 216 с.
25. Перегудов Ф. И., Тарасенко Ф. П. Введение в системный анализ. М.: Высшая школа, 1989. 367 с.
26. Пойа Д. Как решать задачи. Львов: Квантор, 1991. 216 с.
27. Разумовский О. С. Бихевиоральные системы. Новосибирск: Наука, 1993. 240 с.
28. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. М.: Радио и связь, 1991. 224 с.
29. Сеннер Дж. В. Инбредная депрессия и выживание популяций в зоопарках // Биология охраны природы. М.: Мир, 1983. С. 238–254.
30. Тараканов К. В., Овчаров С. А., Тырышкин А. Н. Аналитические методы исследования систем. М.: Сов. Радио, 1974. 239 с.
31. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. М.: Прогресс, 1975. 328 с.
32. Цигичко В. Н., Клоков В. В. Основные принципы описания сложных организационных систем // Диалектика и системный анализ. М.: Наука, 1986. С. 121–136.
33. Шварц С. С., Смирнов В. С., Добринский Л. Н. Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных. Свердловск, 1968. 387 с.
34. Berry R. J. Epigenetic polymorphism in wild population of *Mus musculus* // Genetical Reseach. Cambr. 1963. Vol. 4. P. 193–220.

УДК 630. 024

**ОЛЬГА ИВАНОВНА ГАВРИЛОВА**

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

**ВИТАЛИЙ КОНСТАНТИНОВИЧ ХЛЮСТОВ**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой лесоводства Российского государственного аграрного университета им. Тимирязева  
vitakhlustov@mail.ru

**РОСТ КУЛЬТУР ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ  
В ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ**

В статье рассматриваются вопросы роста лесных культур ели европейской, созданных после сплошных рубок ельников черничных на территории Петрозаводского и Пряжинского лесхозов. Предложены модели средних высот для условий свежих и старых вырубок.

Ключевые слова: искусственное лесовосстановление, ель европейская, рост культур, рубка

Переход лесного сектора экономики на рыночные условия, принятие нового Лесного кодекса, ориентирующего ведение лесного хозяйства на целевое лесопользование, требуют обобщения практического опыта лесокультурного производства в Республике Карелия и научного обоснования технологических приемов искусственного лесовыращивания.

*Актуальность темы исследований* связана с тем, что возрастная динамика роста искусственных фитоценозов является основой лесоустойчивого проектирования и ведения лесохозяйственной деятельности. Исследования хода роста искусственных насаждений на территории Карелии носят фрагментарный характер. Средневозрастные культуры и молодняки ели до 45 лет на сегодняшний день занимают значительные площади. *Целью исследований* являлось выявление закономерностей роста культур ели, созданных после сплошных рубок черничных типов леса на площадях свежих и старых вырубок.

Формирование живого напочвенного покрова на вырубках является одним из факторов, ограничивающих успешность роста и развития культур в

первые годы жизни. Это проявляется как в снижении годичного прироста морфометрических показателей деревьев в результате конкуренции за свет и питание, так и в увеличении отпада при навале травы на сеянцы после схода снега, что, в свою очередь, вызывает неинфекционное выпревание культур и механическое повреждение осевого побега последнего года или стволика растения. Особенно это проявляется на свежих минерализованных почвах, где идет быстрое расселение вейника лесного, кипрея узколистного (иван-чая), луговика извилистого [1], [3]. Полное (сто процентное) покрытие почвы растительностью может наблюдаться уже на четвертый год после обработки почвы (рис. 1). Ослабление воздействия на рост культур напочвенного покрова достигается проведением агротехнических уходов или использованием крупномерного посадочного материала [2], [5].

Руководством по лесовосстановлению Республики Карелия [6] предусмотрено создание культур ели по относительно богатым типам условий местопрорастания методом посадки. Ель, являясь теневыносливой породой, меньше сосны страдает от конкуренции с травянистой



Рис. 1. Свежая вырубка после рубки ельника черничного 1 года (сверху), внизу – вырубка 5 лет после рубки ельника травяно-злакового

растительностью и лиственными породами за свет, однако воздействие травянистой растительности для ели проявляется дольше в связи с медленным ростом в первые годы.

Пробные площади закладывались в пределах одной группы типов леса в одновозрастных древостоях еловой формации. Число деревьев на пробных площадях соответствовало требованиям ОСТ 56-69-83 «Пробные площади лесоустойчивые. Метод закладки». Проводился замер диаметров не менее 300 деревьев на пробе, сплошное измерение высот для культур в возрасте до 20 лет и 10 % высот для культур старше 20 лет для разных ступеней толщины. Тип условий произрастания до рубки устанавливали по таксационным описаниям прошлых лет.

*Результаты исследований.* Основной моделью оценки продуктивности древостоев является бонитеровочная шкала, описывающая возрастную динамику средней высоты ( $H_{cp}$ , м) с возрастом ( $A$ , лет) в разрезе классов бонитета ( $B$ ). По данным исследования пробных площадей, заложенных в культурах ели после сплошных рубок в черничных типах леса, была получена модель средней высоты вида (рис. 2):

$$H_{cp} = \exp(-2,62816 + 0,388179 \ln A + 0,137339 \ln^2 A + 2,943705 \ln B - 1,37159 \ln^2 B). \quad (1)$$

$R^2 = 0,963$ ;  $F = 461,5$ ;  $t = |3,3; 1,8; 3,3; 2,75; 3|$ ,  
 $\lim B = I-V$ ;  $\lim A = 10-45$  лет,  
 где  $R^2$  – коэффициент детерминации;  $t$  – критерий значимости численных коэффициентов уравнения,  $F$  – критерий Фишера.

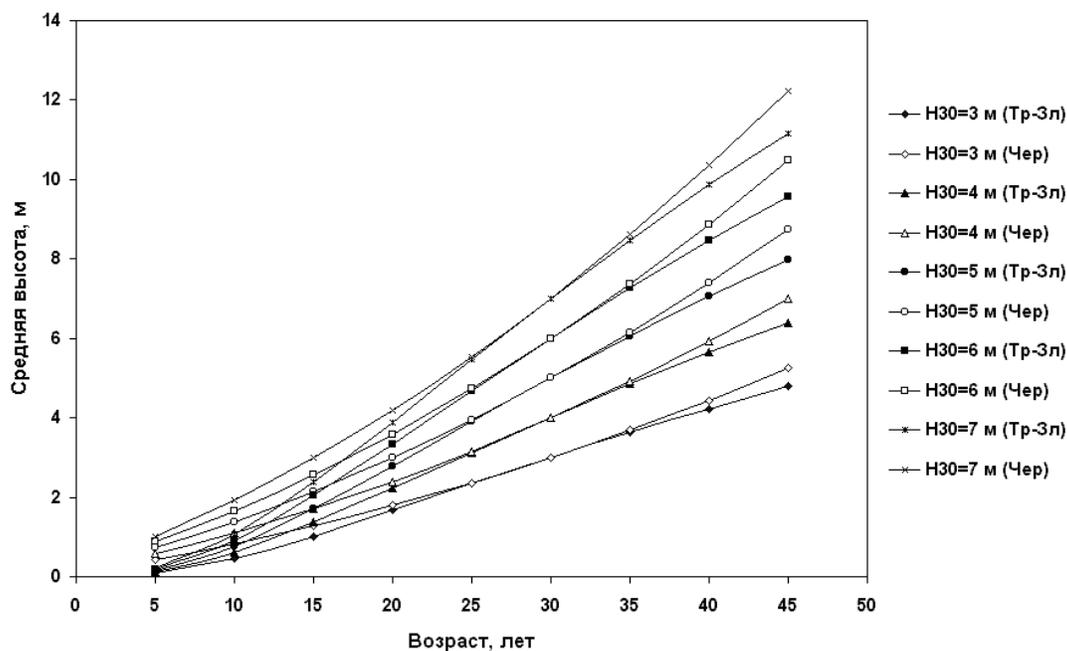


Рис. 2. Сопоставление возрастной динамики роста культур ели по средней высоте, высаженных по черничным и травяно-злаковым типам леса

Модель средней высоты культур, созданных после рубки вейниково-разнотравных типов леса, представлена регрессией вида:

$$H_{\text{ср}} = \exp(-6,24098 + 3,771412 \ln A - 0,36334 \ln^2 A - 0,29034 \ln^2 B), \quad (2)$$

$$R^2 = 0,982; F = 367,9; t = |5,8; 5,7; 3,6; 10,8|.$$

Однако использование этой модели ограничивается рамками классов бонитета и не позволяет решать ряд задач моделирования продукционного процесса более детально. Поэтому модель была усовершенствована, и вместо класса бонитета было предложено использовать среднюю высоту в конкретном возрасте древостоя.

В нашем случае принят возраст 30 лет ( $H_{30}$ ). Модели (1) и (2) получили следующий вид: для черничного типа леса (рис. 3)

$$H_{\text{ср}} = H_{30} \times \exp(-2,90903 + 0,388179 \ln A + 0,137339 \ln^2 A), \quad (3)$$

$R^2 = 0,973; F = 318,9; t = |4,5; 3,7; 3,9|$ ; для вейниково-разнотравного типа леса (рис. 4):

$$H_{\text{ср}} = H_{30} \times \exp(-8,62415 + 3,771412 \ln A - 0,36334 \ln^2 A), \quad (4)$$

$$R^2 = 0,923; F = 330,1; t = |2,5; 3,6; 2,1|.$$

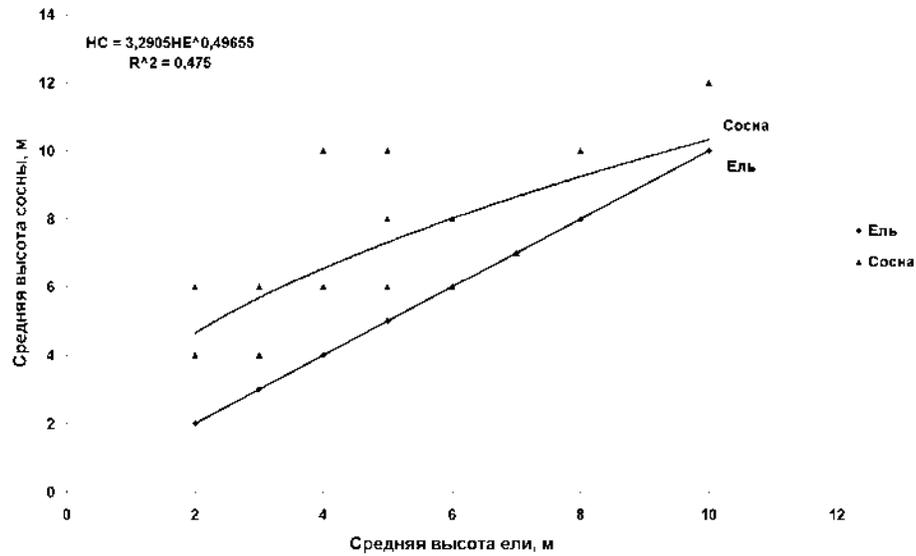


Рис. 3. Сопоставление средних высот лесных культур ели со средними высотами соснового элемента естественного происхождения (рубка после ельника черничного)

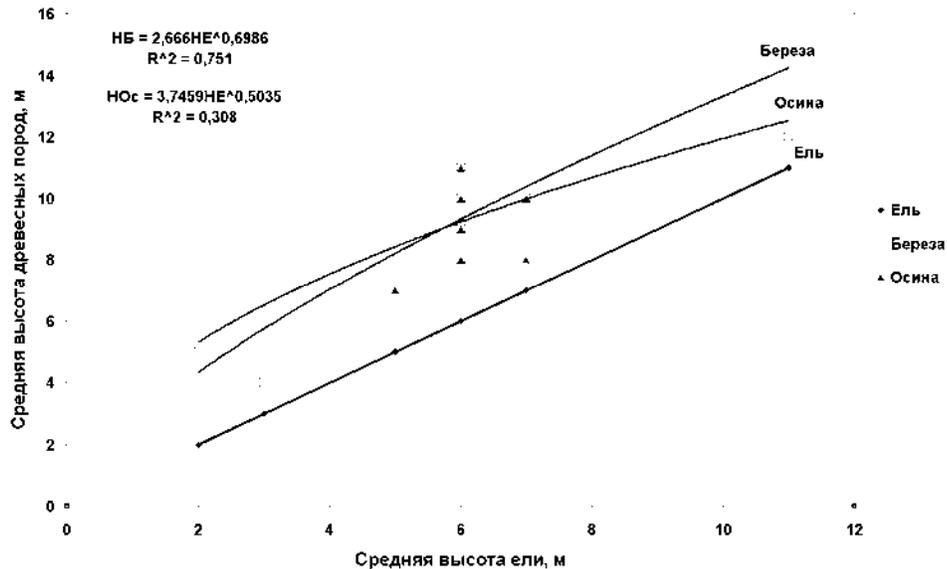


Рис. 4. Сопоставление средних высот лесных культур ели со средними высотами березового элемента естественного происхождения (после рубки ельника черничного)

Рост еловых культур старших возрастов следует рассматривать в конкурентных отношениях с естественным возобновлением вырубок. Подготовленная почва создает благоприятные условия для появления обильной поросли осины и семенного возобновления как сосны, так и березы. Оценить превосходство древесных пород с категориями умеренного (сосна) и ускоренного (береза, осина) роста над древостоями культур ели позволяет взаимосвязь средних высот естественного возобновления ( $H_C$ ) ( $H_{Б,Ос}$ ) со средней высотой еловых древостоев.

Высота сосны ( $H_C$ ) относительно высоты культур ели ( $H_E$ ) при доминировании злаков в живом напочвенном покрове (тип леса вейниково-разнотравный) описывается уравнением вида:

$$\begin{aligned} H_C &= 0,9279H_E^{1,1773} & R^2 &= 0,934; \\ H_B &= 2,666H_E^{0,6986} & R^2 &= 0,751; \\ H_{Ос} &= 3,7459H_E^{0,5035} & R^2 &= 0,308. \end{aligned}$$

Для черничных типов леса:

$$\begin{aligned} H_C &= 3,2905H_E^{0,49655} & R^2 &= 0,475; \\ H_B &= 2,0727H_E^{0,7696} & R^2 &= 0,555; \end{aligned}$$

$$H_{Ос} = 2,5662H_E^{0,6908}, \quad R^2 = 0,376.$$

*Выводы.* Высота культур ели, созданных по свежим вырубкам после черничных типов леса, превышает высоту культур, созданных по вейниково-разнотравным, до 15–25 лет. После этого возраста преимущество по высоте имеют насаждения вейниково-разнотравного типа леса.

В первые годы травянистые растения вырубок негативно влияют на рост культур ели в высоту, перехватывая свет, воду и минеральное питание. На увеличение высоты культур ели после 25 лет оказало влияние, видимо, повышение плодородия почвы, связанное с перегниванием дернины, сформированной злаками, и ежегодно отмирающей надземной частью разнотравья.

Высота естественного возобновления сосны, осины и березы существенно превышает высоту культур ели до 45 лет по черничным типам условий местопрорастания, поэтому для формирования высокопродуктивного елового насаждения необходимо проведение своевременных рубок ухода.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ипатов В. С., Кирикова Л. А. Классификация отношений между растениями в сообществах // Бот. журнал. 2000. Т. 85. С. 92–100.
- Крышень А. М. Структура растительного сообщества вейниковой вырубки. 2. Взаимоотношения доминантов // Ботанический журнал. 2003. Т. 88. № 12. С. 73–81.
- Крышень А. М. Динамика растительности на свежих вырубках в ельниках черничных // Лесоведение. 2006. № 6. С. 55–62.
- Руководство по лесовосстановлению в гослесфонде Республики Карелия. Петрозаводск: Госкомприроды, 1995. 85 с.
- Соколов А. И., Туртайнен М. Улучшение системы лесовосстановления // Рубки и восстановление лесов. Петрозаводск, 1999. С. 84–117.
- Хлюстов В. К., Гаврилова О. И., Морозова И. В. Лесные культуры Карелии (Этапы раннего возраста). М.: ФГОУ ВПО РНУ – МСХА им. Тимирязева, 2007. 223 с.

УДК 630\*232.11:582.475.4(470.22)

**БОРИС ВЛАДИМИРОВИЧ РАЕВСКИЙ**

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный  
сотрудник Института леса КарНЦ РАН  
raevski@drevlanka.ru

### НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИНТРОДУКЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ СОСНЫ СКРУЧЕННОЙ В ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ

Изучены сохранность, устойчивость, рост и развитие ряда вариантов сосны скрученной и обыкновенной в испытательных культурах на юге Карелии. Показано, что сосна скрученная как экзот оказывается способной не только к успешной акклиматизации, но отчасти и натурализации в почвенно-климатических условиях подзоны средней тайги Карелии. В пределах исследованного возрастного периода (20 лет) усредненное по опыту преимущество сосны скрученной по производительности перед аборигенной сосной составило 37,1 % при оценке по максимальному годовичному приросту.

Ключевые слова: сосна скрученная, сосна обыкновенная, происхождения, рост, сохранность

Выбор сосны скрученной (*Pinus contorta*, ssp. *latifolia* S. Watson) в качестве объекта интродукции на Европейский Север России был обусловлен, прежде всего, положительным шведским опытом ее разведения и стремлением применить его при создании постоянной лесосырьевой базы целлюлозно-бумажной промышленности в европейско-уральской зоне бывшего СССР. Источниками семенного материала были старые финские культуры экзота в Карелии, а также шведские семенные коллекции, собранные непосредственно в пределах естественного ареала (Канада). В Карелии [4] за период с 1982 по 1996 год нами было заложено около 22 га опытных объектов с участием сосны скрученной. Учитывая опыт Скандинавии и результаты культивирования в нашей стране, сосна скрученная и сегодня рассматривается как весьма перспективный объект интродукции.

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом изучения были смешанные испытательные культуры сосен скрученной и обыкновенной, созданные в Видлицком лесничестве Олонецкого лесхоза в 1988 году. Исследования были организованы с использованием стационарно-динамического метода [2]. Данный метод предусматривает периодическое (раз в 3–5 лет) изучение хода роста лесных культур на постоянных пробных площадях до возрастов количественной, технической и естественной спелости. Постоянные пробные площади были заложены таким образом, чтобы выявить влияние на устойчивость и продуктивность культур следующих факторов:

- биологические особенности видов (экзот – сосна скрученная; абориген – сосна обыкновенная);

- вид посадочного материала (1-летние тепличные сеянцы; 3-летние перешколенные саженцы);
- генетические особенности вариантов.

При исследовании древостоя на пробе определялось фактическое среднее расстояние между рядами, общее количество рядов, их протяженность, расстояние между растениями в ряду. На основании этих данных вычислялась фактическая исходная густота культур при посадке. В последующие годы сохранность культур определялась как отношение количества сохранившихся на момент исследования растений к общему числу высаженных. Уточнялся возраст культур: календарный (лесокультурный) – число вегетационных сезонов, прошедших с момента создания культур; биологический – лесокультурный возраст плюс возраст посадочного материала.

Диаметр стволов на высоте груди (1,3 м) измерялся с точностью до 1 мм. Деревья, имеющие высоту менее 1,3 м, учитывались отдельно. Одновременно делалось описание дерева. Глазомерно оценивалась стройность ствола по четырехбалльной шкале: 1 – прямой; 2 – слабоискривленный; 3 – сильноискривленный; 4 – кустовидный (осевой побег не выражен). Отдельно учитывались явно выраженные двойчатки, а также экземпляры, отставшие в росте и имеющие закрытую вершину для оценки величины потенциального отпада.

Повреждения в культурах фиксировались одновременно с замером диаметра. Отмечались деревья, наклоненные и поваленные под воздействием снеговой и ветровой нагрузки (снеговал, снеголом, ветровал, бурелом). Отдельно фиксировались повреждения, причиненные крупными млекопитающими (слом вершины, откусывание ветвей, обдир коры) и грызунами. Отмечались повреждения побегов и хвои вредителями и болезнями, неблагоприятными погодными факторами. Одновременно с замером диаметра ствола по наличию созревающих шишек велся учет плодоносящих деревьев и параметра плодоношения как качественного альтернативного признака. Термин «плодоношение» применительно к представителям рода сосна используется традиционно, поэтому далее по тексту употребляется без кавычек.

Для построения графика высот были измерены высоты у 100 (2 x 50 шт.) растений сосны обыкновенной и сосны скрученной отдельно по видам посадочного материала (саженцы и сеянцы). Замер высот осуществлялся высотомером ВН-1 с точностью  $\pm 20$  см. Объемы стволов определялись по таблицам Н. И. Казиминова и В. В. Кабанова [1]. Поскольку для сосны скрученной специальных таблиц не разработано, объемы ее стволов определялись по таблице для сосны обыкновенной.

Общая площадь участка культур составляет 13,3 га, в том числе площадь опыта – 5,9 га

(рис. 1). Ряды ориентированы по длинной стороне (433 м) в направлении юг – север. На опытной площади один гектар был заложен трехлетними перешколенными саженцами (1 т + 2), а остальная часть – однолетними тепличными сеянцами с открытой корневой системой. Посадочный материал выращивался в базисном питомнике Олонецкого лесхоза.

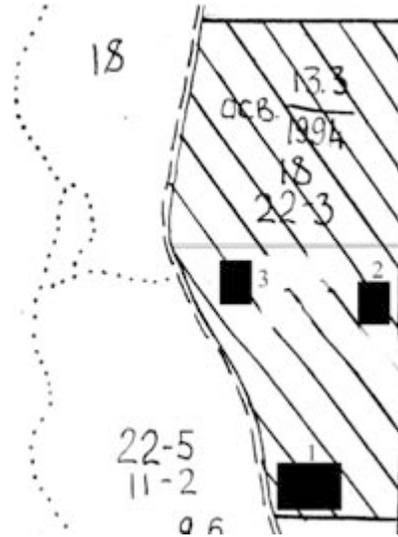


Рис. 1. Схема опытного участка в Видлицком лесничестве

В первые годы после закладки данных испытательных культур задачи исследований ограничивались сравнительным анализом успешности роста и сохранности отдельных вариантов сосны обыкновенной между собой и по отношению к контролю. Такой же подход был и в отношении сосны скрученной – сравнительный анализ роста вариантов в группах, далее – между группами и в целом по отношению к сосне обыкновенной. Такой метод группировки и анализа первичных данных сохранился и далее. Позже была сформулирована более общая задача изучения хода роста и развития данного культурфитоценоза путем организации наблюдений на постоянных пробных площадях. Первоначально (1997, 2002 гг.) проба № 1 площадью 1,0 га включила в себя все варианты обоих видов, заложенных трехлетними саженцами (1 т + 2). В 2006 году крайние два ряда, прилегающие к дороге, были исключены и в целом площадь пробы уменьшена до 0,5 га. Для характеристики культур, созданных тепличными однолетками, в 2002 году было заложено две пробы (№ 2 и 3) по 0,5 га. Таким образом, площадь сплошного перечета в 2006 году составила 1,5 га, или 25,4 % от общей площади опыта.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В статье представлены результаты очередного этапа начатых еще в 1988 году исследований хода роста происхождений сосны скрученной в данных испытательных культурах [4], [5]. В 1997 го-

ду на пробе № 1 сохранность сосны скрученной составила 72 %, сосны обыкновенной – 70 %. В 2002 и 2006 годах сохранность экзота равнялась соответственно 70,2 и 65,4 %, а у аборигенной сосны – 67,4 и 61,4 %. На остальной площади (культуры созданы однолетними сеянцами) в 1997 году показатель сохранности у обоих видов составил 64 %. По данным учета 2002 года на пробах № 2 и 3 погибших растений отмечено не было, а в 2006 году учтен только один усохший экземпляр сосны обыкновенной. Поэтому в итоге общий показатель сохранности культур из сеянцев остался на уровне 1997 года (64 %) и стал практически таким же, как и на пробе № 1.

В 2002 году при отбивке пробных площадей в натуре была уточнена общая площадь опыта и схема размещения посадочного материала. Испытательные культуры обычно закладываются по схеме 3 x 1 м с густотой не менее 3300 шт./га. Фактически же среднее расстояние между рядами на опытном участке составило 4,3 м вместо положенных 3,0 м. Поэтому исходная густота культур оказалась заниженной: по саженцам – в 1,8 раза (1852

шт./га), по сеянцам – в 2,2 раза (1513 шт./га). В настоящее время на участке, заложенном саженцами, сформировалось смешанное насаждение, имеющее структуру древостоя 6С об.к.4С скруч. по числу стволов и практически такую же структуру (5,6С об.к.4,4С скруч.) по запасу. На остальной площади (4,9 га) соотношение пород по числу стволов было практически равным – 5,2С скруч.4,8С об.к. Структура древостоя по запасу выглядела немного иначе – 5,9С скруч.4,1С об.к.

Посадочный материал выращивался из семян различных селекционных категорий (нормальные и улучшенные). Шишки сосны обыкновенной собирались на прививочной ЛСП Олонецкого лесхоза отдельно по клону. Контролем к аборигенной сосне являлся вариант, выращенный из общего образца семян сосны обыкновенной с той же самой лесосеменной плантации. Формально такие семена считаются генетически улучшенными. Сосна скрученная имела как местное «карельское» (Импиллаhti, Сортавала), так и непосредственно канадское происхождение (табл. 1).

Таблица 1

Происхождение семенного материала или материнских деревьев клонов (сосна обыкновенная), представленных в опыте

Вариант	Провинция	Место происхождения (лесхоз)	Широта, град. с. ш.	Долгота, град.*	Высота над уров. моря, м	Климатип (подвид)
Сосна обыкновенная						
Чупа	Карелия	Лоухский	66°10′	33°00′	150	Ssp. lapponica
Ругозеро	---«»---«»---	Муезерский	64°05′	32°40′	150	Ssp. lapponica
Олонец	---«»---«»---	Олонецкий	61°00′	33°00′	100	Ssp. sylvestris
Контроль	---«»---«»---	Олонецкий	61°00′	33°00′	100	Ssp. sylvestris
Сосна скрученная						
Импиллаhti	Карелия	Питкярантский	61°40′	31°10′	100	Нет данных
Сортавала	---«»---«»---	Сортавальский	61°43′	30°45′	100	---«»---«»---
S23A8560230	Alberta	Hines Creek	56°10′	118°30′	825	Fort St. John
S23A8560231	Alberta	Saddle Hills	55°44′	119°40′	609	---«»---«»---
S23A8560229	Alberta	Cutbank	54°35′	119°00′	1066	---«»---«»---
S23A8560227	Alberta	Swan Hills	54°30′	115°30′	1066	Alberta
S23A8560228	Alberta	Marlbroedson	53°55′	116°50′	1036	---«»---«»---

\* – для Республики Карелия долгота восточная, для Канады – западная.

В данном случае под местными «карельскими» происхождениями или вариантами сосны скрученной понимались образцы семян, собранные в старых финских культурах в юго-западной части Республики Карелия (Северное Приладожье). Остальные варианты сосны скрученной – это образцы семян популяционного сбора (нормальные семена) из естественных насаждений ее природного ареала. Как следует из таблицы 1, клоны сосны обыкновенной с Олонецкой ЛСП имеют различное географическое происхождение.

Все варианты экзота из Канады происходят из восточной части его ареала, из одной административной провинции Альберта, расположенной южнее на 7...5° по отношению к месту испытаний в Карелии (рис. 2). Как это часто бывает в отношении старых интродукционных посадок, точное

происхождение семян, использованных для их создания, неизвестно. Однако в нашем случае уместно сослаться на мнение Вейссенберга [9], изучившего состояние старых посадок сосны скрученной в Южной Финляндии. В частности, он писал следующее: «Большинство насаждений были созданы в конце 20-х, начале 30-х годов... Семенной материал, за двумя исключениями, происходил из достаточно ограниченного региона (49–52° с. ш. и 112–110° з. д.). Два вышеуказанных исключения происходят из района с координатами 55–57° с. ш. и 119–117° з. д...» Таким образом, можно практически с абсолютной точностью утверждать, что все семь включенных в опыт вариантов сосны скрученной происходят из канадской провинции Альберта и представляют ее внутриконтинентальный подвид *latifolia*.



Рис. 2. Фрагмент естественного ареала сосны скрученной [8].  
● – происхождения, представленные в опыте

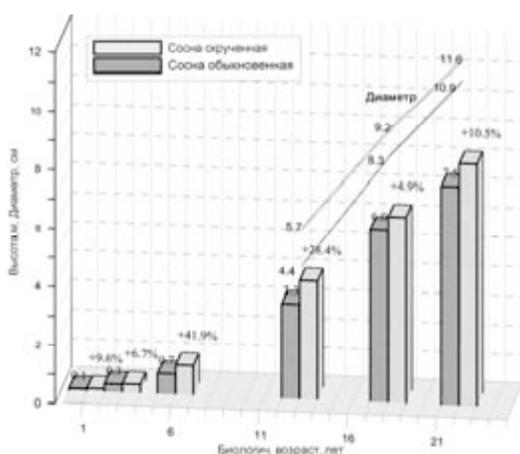


Рис. 3. Проба № 1. Ход роста сосен скрученной и обыкновенной в высоту и по диаметру

Анализ основных агроклиматических показателей соответствующих частей естественного и интродукционного ареалов (табл. 2) свидетельствует об их значительном сходстве, хотя в климате восточных предгорий Скалистых гор континентальные черты выражены более отчетливо. Разведение сосны скрученной в Карелии означает перенос ее в условия умеренно-континентального климата с элементами морского, для которого характерны обильные осадки, особенно в начале и конце зимнего периода, в виде тяжелого мокрого снега, что может создавать проблемы, связанные с биомеханической устойчивостью растений. Это подтверждается большим опытом разведения данного экзота в Швеции [6], [7].

Поскольку на участке, созданном саженцами (проба № 1), сосна скрученная была представлена только вариантом «Сортавала» в 4 повторностях (рядах), оптимальным представляется рассмотрение данных по росту культур в целом по видам (табл. 3, рис. 3).

Как уже отмечалось в предыдущих публикациях [4], [5], с первых лет жизни сосна скрученная

росла быстрее сосны обыкновенной. Некоторое преимущество экзота по диаметру у корневой шейки и высоте отмечалось уже на этапе однолетних тепличных сеянцев, а также на момент выкопки трехлетних саженцев из школьного отделения. Различия между видами на всех возрастных этапах были статистически достоверными, но не одинаковыми по величине. Как следует из рис. 3, наибольшая относительная разница по высоте между аборигенной сосной и экзотом имела место в 3-летних культурах (биологический возраст – 6 лет). Далее наметилась тенденция к ее уменьшению, и по результатам замеров 2002 года (биологический возраст – 18 лет) можно было ожидать, что в ближайшие 4–5 вегетационных сезонов аборигенная сосна догонит экзот. Однако этого не произошло, и в 2006 году (биологический возраст – 22 года) сосна скрученная по-прежнему статистически достоверно превосходила сосну обыкновенную по высоте и диаметру на 10,5 и 6,4 % соответственно.

Как следует из табл. 4 и 5, сбор данных на пробе проводился в 1997, 2002 и 2006 годах. Таким образом, анализируемый общий 9-летний промежуток можно разбить на 5- (1997–2002 гг.) и 4-летний (2002–2006 гг.) временные отрезки. Динамика основных таксационных показателей исследуемых сосен за 9-летний период убедительно свидетельствует об активном росте и дифференциации древостоев. Общий запас на участке за пятилетие увеличился в 3,8 раза, а за последующие 4 года – в 1,7 раза. Аналогичной была тенденция и в отношении среднего объема ствола. Причем если у сосны скрученной он вырос в 3,4 и 1,9 раза за указанные временные промежутки, то у сосны обыкновенной – в 4,6 и 1,9 раза соответственно. Дело в том, что в 1997 году разница по среднему объему ствола между видами была максимальной (61,1 % в пользу экзота). В 2002 и 2006 годах она сократилась до 18,5 и 16,5 % соответственно. Аборигенный вид явно начал догонять экзот. К возрасту культур 19 лет (биологический возраст – 22 года) на участке сформировалось смешанное насаждение, имеющее следующие характеристики: состав и структура – 6С обыкн.4С скруч.; относительная полнота – 0,67; запас – 69,2 м<sup>3</sup>/га; густота – 1460 ств./га; средние диаметр и высота – 11,2 см и 7,8 м. Вопросы величины текущего прироста и сравнительной продуктивности будут обсуждены ниже. По данным учета 2002 года доля особей с закрытой вершиной, то есть в той или иной мере угнетенных, у сосны обыкновенной оказалась почти в два раза больше, чем у сосны скрученной. С этим связывался и более высокий коэффициент вариации ее диаметра (см. табл. 3). Соответственно, был сделан прогноз об увеличении в ближайшие годы объема естественного отпада у аборигенного вида. Данные табл. 4 и 5 это подтверждают. В 2002 и 2006 годах отпад по числу стволов у сосны скрученной составил 2,5 и 6,7 %, а у сосны обыкновенной – 3,8 и 8,9 % соответственно.

Таблица 2

Агроклиматические показатели  
части естественного и интродукционного ареалов сосны скрученной

Показатели	Канада, провинция Альберта (50–56° с. ш., 112–120° з. д.)	Россия, Республика Карелия, Олонец- кий р-н (61–62° с. ш., 30–33° в. д.)
Высота над уровнем моря, м	600–1220	50–100
Средняя температура, °С:		
годовая	2,0	2,4
января	-15	-10,3
июля	16	16,1
Годовые осадки, мм	760	584
Безморозный период, дни	75	111
Сумма температур $\geq 5^\circ$	1600	1893
Продолжительность вегетационного периода, дни	160	158
Индекс континентальности	40–50	36–42

Таблица 3

Основные биометрические  
характеристики сосен скрученной и обыкновенной на пробе № 1

Порода	Число наблюдений	Диаметр, см	Кэфф. вариации диаметра, %	Достоверность различий, (T-test)*	Высота, м
1997 год					
Сосна скрученная	320	5,7 ± 0,10	30,0	10,15	4,1 ± 0,05
Сосна обыкновенная	501	4,4 ± 0,08	42,3	–	3,3 ± 0,04
2002 год					
Сосна скрученная	313	9,2 ± 0,10	27,9	4,51	6,4 ± 0,05
Сосна обыкновенная	482	8,3 ± 0,13	35,1	–	6,0 ± 0,05
2006 год					
Сосна скрученная	293	11,6 ± 0,20	25,8	2,69	8,3 ± 0,50
Сосна обыкновенная	439	10,9 ± 0,20	32,2	–	7,5 ± 0,40

\* $T_{\alpha} = \{2,0-2,6-3,3\}$ 

Таблица 4

Основные таксационные показатели  
сосны скрученной (проба № 1)

Показатели	Год		
	1997	2002	2006
Число стволов	640	624	582
Запас, м <sup>3</sup> /га	5,260	17,241	30,176
Средний объем ствола, м <sup>3</sup>	0,0082	0,0276	0,0518
Средний диаметр, см	5,7	9,2	11,6
Средняя высота, м	4,1	6,4	8,3
Относительная полнота	0,14	0,23	0,27
Стройность, балл	1,89	1,77	1,72
Отпад (число стволов. / запас, м <sup>3</sup> /га)	–	<u>16</u> 0,056	<u>42</u> 0,621

Таблица 5

Основные таксационные показатели  
сосны обыкновенной (проба № 1)

Показатели	1997	2002	2006
	год	год	год
Число стволов	1002	964	878
Запас, м <sup>3</sup> /га	5,099	22,447	39,046
Средний объем ствола, м <sup>3</sup>	0,0051	0,0233	0,0445
Средний диаметр, см	4,4	8,3	10,9
Средняя высота, м	3,3	5,9	7,5
Относительная полнота	0,18	0,32	0,40
Стройность ствола, балл	1,78	1,79	1,70
Отпад (число стволов / запас, м <sup>3</sup> /га)	–	<u>38</u> 0,142	<u>86</u> 0,806

Как известно, кроме процесса естественного изреживания древостоя существует целый комплекс биотических и абиотических факторов, вносящих весомый вклад в наблюдаемую величину отпада (рис. 4). Во-первых, стоит отметить проблему устойчивости культур к ветровой и снеговой нагрузке. Как отмечают в своей обзорной работе Б. Елфинг и др. [6], сосна скрученная быстро растет с первых лет жизни, развивает мощную, тяжелую крону с длинной хвоей, при этом относительная доля фитомассы, приходящейся на ствол, у нее

меньше, чем у сосны обыкновенной. В этом – главная причина ее меньшей механической устойчивости по сравнению с аборигенной сосной. В условиях умеренного климата с элементами морского, который характерен для стран Северной Европы и Северо-Запада России, данная особенность начинает играть существенную роль. Если же к указанным биологическим особенностям добавляются специфические лесокультурные проблемы, связанные с низким качеством посадки, чрезмерной крупностью посадочного материала,

несимметричностью развития корневой системы, то со временем, по мере увеличения размеров и массы растений, их устойчивость к внешним нагрузкам снижается. Поскольку при отклонении стволика от вертикали деревца продолжают расти, происходит искривление ствола.

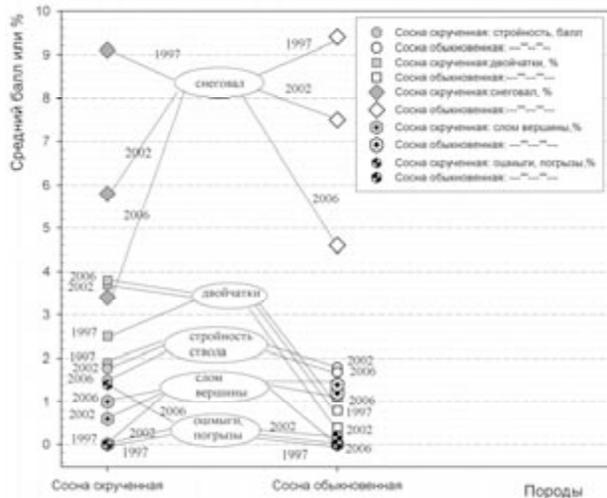


Рис. 4. Признаки, характеризующие устойчивость пород к комплексу повреждающих факторов

Причины, снизившие стройность ствола на нашем участке с саженцами, подробно обсуждались в одной из предыдущих публикаций [5]. Основная часть снеговальных растений была учтена еще в 1997 году. Позднее к ним добавились единичные стволы. Практически все они в 2002 году еще относились к категории растущих и начали активно переходить в отпад только к 2006 году. При вычислении показателя стройности ствола данная категория не учитывалась. В целом же на пробе № 1 по обобщенной оценке (1997–2006 гг.) стройности ствола и доле снеговальных особей сосны скрученной и обыкновенной различались несущественно – 1,72; 6,1 % и 1,75; 7,2 % соответственно.

Средняя (1997–2006 гг.) доля двойчаток заметно больше у сосны скрученной – 3,3 % против 0,8 % у сосны обыкновенной. У интродукта двойчатки встречаются практически во всех ступенях толщины. Отдельно следует остановиться на характере повреждения саженцев крупными млекопитающими, преимущественно лосем. Встречались повреждения двух типов: характерный слом вершины и обгладывание (погрызы, обдир) коры со стволов (см. рис. 4). В целом частота этих повреждений была незначительной. У сосны обыкновенной в 2006 году чаще отмечен слом вершины (1,4 %), а у сосны скрученной – обдир коры (1,4 %). Наличие рядом с территорией опыта медвежьей берлоги привело к тому, что некоторые стволы были ободраны и наклонены медведем. В целом же доля поврежденных крупными млекопитающими деревьев у сосны обыкновенной составила 1,4 %, а у сосны скрученной – 2,4 % от числа всех живых стволов на пробе.

Для сосны скрученной характерно раннее вступление в репродуктивную фазу онтогенеза (примерно с пятилетнего возраста). В 1997 году плодоношение имели 42,5 % деревьев, в 2002 году – 60,3 %, а в 2006-м – 78,4 %. Для сосны обыкновенной этот показатель равнялся 8,6; 8,7 и 53,8 % соответственно. Для обоих видов было характерно, что по мере увеличения степени толщины доля плодоносящих особей в ступени увеличивалась, достигая 80–100 % в господствующей части древостоя. Тем не менее различия между видами в интенсивности плодоношения были очевидны. Только в 2006 году кривая распределения доли плодоносящих деревьев по ступеням толщины (в % от общего числа деревьев элемента леса) у сосны обыкновенной стала похожей на таковую у сосны скрученной (рис. 5). Выявленные особенности биологии экзота создают весьма благоприятные предпосылки для формирования постоянных лесосеменных участков данной породы на базе опытных культур.

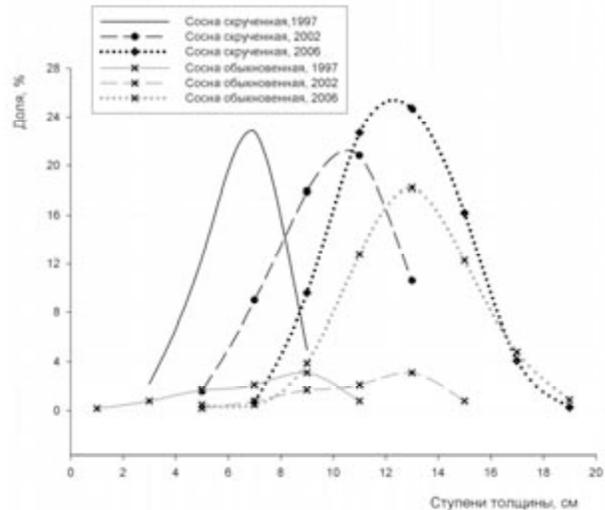


Рис. 5. Распределение плодоносящих деревьев по ступеням толщины, в % от их общего числа по породам (проба № 1)

Обработка данных отдельно по пробам № 2 и 3 площадью по 0,5 га каждая показала, что исследуемые совокупности биологически и статистически однородны. Поэтому первичный материал был объединен в один массив данных, и все последующие выводы распространяются на весь участок культур (4,9 га), заложенный однолетними тепличными сеянцами с открытой корневой системой. Показатели роста и развития фрагмента культур, созданного сеянцами, существенно отличались от соответствующих параметров фрагмента, заложенного саженцами, хотя следует отметить и ряд общих моментов (рис. 6, табл. б). Так же, как и в случае с саженцами, анализ ростовых показателей 15-летних культур в 2002 году давал основания ожидать того, что в следующем пятилетии аборигенная сосна догонит интродуцируемый вид по основным биометрическим показателям. Однако этого не случилось,

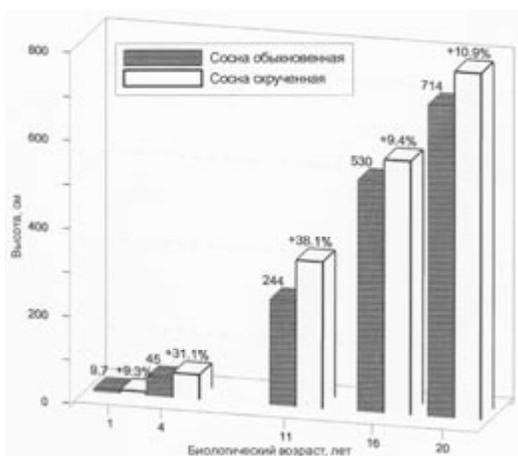


Рис. 6. Пробы № 2 и 3. Ход роста сосен скрученной и обыкновенной в высоту

**Таблица 6**  
Основные таксационные показатели сосен скрученной и обыкновенной, пробы № 2 и 3

Показатели	Сосна скрученная	Сосна обыкновенная
Число стволов, шт.	592	547
Запас, м <sup>3</sup> /га	25,3	17,8
Плодоносящие особи, шт./%	474	232
	80,1	42,4
Стройность, балл	1,22	1,28
Средний объем ствола, м <sup>3</sup>	0,04281	0,03248
Средний диаметр, см	10,5	9,3
Средняя высота, м	7,92	7,14
Относительная полнота	0,24	0,20

и в 2006 году сосна скрученная статистически достоверно превосходила сосну обыкновенную по диаметру на 12,9 %; высоте и среднему объему ствола – на 10,9 и 31,7 % соответственно. Как уже отмечалось выше, на данном участке сфор-

мировалось смешанное насаждение, имеющее следующие характеристики: состав и структура – 5,2С скруч. 4,8С обыкн. по числу стволов, по запасу – 5,9С скруч. 4,1С обыкн.; густота – 1139 шт./га; относительная полнота – 0,44; запас – 43,11 м<sup>3</sup>; средние диаметр и высота – 9,9 см и 7,5 м. Вопросы сравнительной продуктивности культур, заложенных сеянцами и саженцами, будут обсуждены ниже.

Как следует из табл. 7, исследованные варианты культур обеих сосен демонстрируют довольно ровные показатели роста по диаметру. Варианты, имеющие статистически достоверное отличие со средним по виду, отмечены в таблице жирным курсивом. У сосны обыкновенной это один отстающий вариант «Ругозеро», а у сосны скрученной один лидирующий – «S23A8560227». У сосны скрученной была выше доля двойчаток и снеговальных стволов, а у сосны обыкновенной – выше доля особей со сломанной вершиной. Оценка стройности ствола у обоих видов была высокой, причем сосна скрученная даже немного опережала аборигенный вид по данному показателю. При этом у сосны скрученной показатель стройности с увеличением диаметра менялся незначительно, в то время как у сосны обыкновенной был отмечен выраженный тренд: с увеличением ступени толщины качество ствола заметно росло. И, конечно, одна из самых заметных особенностей экзота – раннее вступление растений в репродуктивную стадию развития. На пробе № 1 различие по плодоношению между видами еще менее заметно, а на пробах № 2 и 3 оно уже велико. В целом доля плодоносящих растений у аборигенной сосны примерно в два раза меньше, чем у экзота (см. табл. 6). Анализируя набор исследованных качественных признаков, необходимо отметить, что культуры в целом находятся в хорошем состоянии, имеющиеся повреждения незначительны (см. табл. 7).

**Таблица 7**  
Основные характеристики сосен скрученной и обыкновенной на пробах № 2 и 3.  
Биологический возраст – 20 лет

Вариант	№	Диаметр, см	Высота, м	Объем средн. дерева, м <sup>3</sup>	Стройность ствола, балл	Двойчатки, %	Снеговал, %	Слом вершины, %	Обдир коры, %	Запас, м <sup>3</sup> /га
<b>Сосна обыкновенная</b>										
24 Чула	81	9,3	7,1	0,033	1,25	–	1,2	2,5	–	2,6
<b>Ругозеро</b>	<b>114</b>	<b>8,7</b>	<b>7,0</b>	<b>0,029</b>	<b>1,32</b>	<b>0,9</b>	–	<b>2,6</b>	<b>1,8</b>	<b>3,3</b>
2 Олонец	210	9,3	7,1	0,032	1,24	1,0	–	2,4	0,5	6,7
3 Олонец	65	9,8	7,2	0,038	1,31	3,1	–	4,6	–	2,5
Контроль	77	9,7	7,1	0,035	1,32	–	–	–	–	2,7
<b>Среднее (итого)</b>	<b>547</b>	<b>9,3</b>	<b>7,1</b>	<b>0,033</b>	<b>1,28</b>	<b>0,9</b>	<b>0,2</b>	<b>2,6</b>	<b>2,4</b>	<b>17,8</b>
<b>Сосна скрученная</b>										
Импилхти	219	10,2	7,8	0,041	1,25	0,9	5,5	0,9	1,4	8,9
Соргавала	73	10,6	7,9	0,046	1,24	4,1	11,0	1,4	11,0	3,4
S23A8560230	74	10,5	7,9	0,043	1,45	–	–	–	–	3,2
S23A8560231	57	10,6	8,0	0,042	1,23	–	–	3,5	3,5	2,4
S23A8560229	14	9,5	7,6	0,033	1,14	–	–	7,1	–	0,5
<b>S23A8560227</b>	<b>54</b>	<b>11,5</b>	<b>8,2</b>	<b>0,051</b>	<b>1,07</b>	–	–	–	–	<b>2,7</b>
S23A8560228	101	10,6	8,0	0,042	1,15	1,0	1,0	2,0	1,0	4,3
<b>Среднее (итого)</b>	<b>592</b>	<b>10,5</b>	<b>7,9</b>	<b>0,043</b>	<b>1,22</b>	<b>1,2</b>	<b>3,7</b>	<b>1,4</b>	<b>2,4</b>	<b>25,3</b>

Еще в 1997 году были отмечены высокое качество ствола, отсутствие снеговала и хороший рост культур, заложенных сеянцами. Было высказано предположение, что в скором времени участки культур, созданные сеянцами и саженцами, сравняются по биометрическим показателям. Кроме того, обработка данных за 2002 год показала, что разрыв между экзотом и аборигенной сосной значительно сократился. Это давало повод ожидать, что к моменту следующего обследования сосна обыкновенная догонит сосну скрученную. Ни того, однако, ни другого пока не произошло (табл. 8).

Таблица 8

Динамика таксационных характеристик 18-летних культур сосны скрученной и сосны обыкновенной в зависимости от вида посадочного материала

Годы учета	Сосна обыкновенная			Сосна скрученная		
	Объем среднего дерева, м <sup>3</sup>	Запас на 1 га, м <sup>3</sup>	Средне-периодич. прирост, м <sup>3</sup> /га	Объем среднего дерева, м <sup>3</sup>	Запас на 1 га, м <sup>3</sup>	Средне-периодич. прирост, м <sup>3</sup> /га
Саженцы (1 т + 2)						
1997	0,005	8,5		0,0082	13,2	
2002	0,023	37,4	5,83	0,0276	43,1	6,02
2006	0,045	65,1	7,25	0,0518	75,4	8,47
Темп роста (2002–2006), %	91,0	74,0	24,4	87,7	75,0	40,7
Сеянцы (1 т)						
2002	0,018	21,0		0,0229	26,1	
2006	0,033	37,0	4,01	0,0428	48,7	5,66
Темп роста, %	85,7	76,6		86,9	86,6	
Сеянцы по отношению к саженцам, %						
2002	-24,9	-44,0		-17,0	-39,4	
2006	-27,0	-43,1	-44,7	-17,4	-35,4	-33,2

В табл. 8 дана сравнительная оценка продуктивности культур по породам и категориям посадочного материала. Текущий годичный (среднепериодический) прирост рассчитан по формуле: изменение запаса плюс отпад, деленное на число лет соответствующего периода. Если говорить о саженцах, то, как следует из табл. 8, темпы роста сосен обыкновенной и скрученной практически одинаковые, но текущий годичный прирост за последнее 4-летие у интродуцента был выше на 16,8 %. По сеянцам картина несколько иная. По темпам увеличения всех таксационных показателей экзот имеет стабильное преимущество, а по величине прироста разница между видами достигает 41,1 %. В целом по опытному участку превосходство интродуцента по приросту составило 37,1 %. Следует упомянуть, что оценка сосны скрученной как более продуктивной по объему стволовой древесины

породы (+36 % по сравнению с аборигенной сосной) в работах Елфинга и др. [6], [7], [8] рассчитана именно по величине максимального среднепериодического прироста. Данные табл. 8 также свидетельствуют о сохранении во времени относительной разницы между сеянцами и саженцами. Иными словами, культуры, созданные перешколенными 3-летними саженцами, имеют более высокую сохранность, диаметр и высоту. Такого рода положительный эффект применения крупномерного посадочного материала хорошо известен. Однако по другим показателям картина не столь однозначна (табл. 9).

Таблица 9

Качество ствола и повреждаемость культур сосен скрученной и обыкновенной по видам посадочного материала

Вариант	Стройность ствола, балл	Двойчатки, %	Снеговал, %	Слом вершины, %	Обдир коры, %
Сосна обыкновенная					
Сеянцы	1,28	0,9	0,2	2,6	2,4
Саженцы	1,68	1,1	4,6	1,4	0
Сосна скрученная					
Сеянцы	1,22	1,2	3,7	1,4	2,4
Саженцы	1,51	3,8	3,4	1,0	1,4

Культуры из сеянцев отличаются лучшим качеством ствола, но у них ниже сохранность. Известно, что более мелкий посадочный материал при прочих равных условиях предполагает большее количество уходов. В нашем случае они сильнее пострадали от лося. Очевидно, что использование крупномерного материала позволяет культурам быстрее выходить из зоны риска. Вопросы размерности посадочного материала, пропорциональности развития надземной и подземной частей дерева, густоты посадки для сосны скрученной весьма актуальны, так как в целом жесткость ствола и биомеханическая устойчивость у нее ниже, чем у сосны обыкновенной. Искривление же стволиков в молодом возрасте в дальнейшем повышает вероятность ветровала и снеговала и, в конце концов, сказывается на всех таксационных параметрах древостоя.

Применительно к искусственному лесовосстановлению в таежной зоне преодоление так называемого «фактора времени» подразумевает формирование различными методами и способами хвойных молодняков, обладающих ускоренным ростом. Описанные испытательные культуры сосны созданы в относительно благоприятных почвенно-климатических условиях средней подзоны тайги на юго-западе Карелии. Тип леса – черничный, почва – подзолистая супесчаная, подстилаемая суглинками в условиях моренного пологоволнистого рельефа. Руководствуясь рекомендациями ЛенНИИЛХ [3] и средней высотой древостоя как ведущим параметром, на момент исследования производительность культур оценена по I,5 классу бонитета. Следует отметить, что интенсив-

ный рост культур достигнут без применения удобрений и химического ухода, исключительно за счет правильного выбора лесокультурной площади в смысле соответствия ее эколого-биологическим свойствам высаживаемых пород, хорошей очистки лесосеки, обработки почвы дисковым орудием (ПДН-1), использования качественного посадочного материала и проведения своевременных уходов механическим способом.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Испытательных культур сосны скрученной, где были бы представлены ее происхождения из естественного ареала, на Европейском Севере России насчитывается всего несколько десятков гектаров, поэтому ценность каждого длительно наблюдаемого полевого опыта с участием этой породы весьма велика. Нами были изучены сохранность, устойчивость, рост и развитие ряда вариантов сосен скрученной и обыкновенной в испытательных культурах, созданных в Видлицком лесничестве Олонецкого лесхоза в 1988 году.

Исследованиями на данном опытном участке выявлено, что провениенции экзота из провинции Альберта (Канада), несмотря на свое относительно южное происхождение (5...7° южнее места испытаний) и перенос в существенно менее континентальные климатические условия, показали хорошую сохранность, удовлетворительную устойчивость к комплексу биотических и абиотиче-

ских факторов среды, быстрый рост и ускоренный переход к генеративной стадии развития. Аналогичные выводы могут быть сделаны и в отношении карельских вариантов «Сортавала» и «Имплахти», которые являются семенным потомством 50-летних культур этого вида. Таким образом, сосна скрученная (*Pinus contorta* ssp. *latifolia* S. Watson) как интродуцируемая порода (экзот) оказывается способной не только к успешной акклиматизации, но отчасти и натурализации в почвенно-климатических условиях подзоны средней тайги Карелии. При совместном выращивании с аборигенной сосной обыкновенной она успешно встраивается в систему связей формирующегося культурфитоценоза и становится его органической частью. В пределах исследованного возрастного периода усредненное по опыту преимущество сосны скрученной по производительности перед аборигенной сосной составило 37,1 % при оценке по среднепериодическому приросту за последние 4 года. Создание смешанных культур повышает их общую устойчивость и снижает всевозможные риски при использовании интродуцентов. Есть основания считать, что использование сосны скрученной как пионерной скороспелой породы в смеси с аборигенной сосной обыкновенной в средней подзоне тайги Карелии было бы целесообразным при создании лесосырьевых плантаций с целью получения как балансовой, так и крупной пиловочной древесины.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лесотаксационные таблицы / Сост. Н. И. Казимиров, В. В. Кабанов. Петрозаводск, 1976. С. 32.
2. Огиевский В. В., Хиров А. А. Обследование и исследование лесных культур. М.: Лесная промышленность, 1964. 52 с.
3. Прогнозные таблицы хода роста плантационных культур. Л.: ЛенНИИЛХ, 1988. 37 с.
4. Раевский Б. В., Мордась А. А. Рост и продуктивность испытательных культур сосны скрученной в Южной Карелии // Лесной журнал. 2000. № 5–6. С. 74–81.
5. Раевский Б. В., Мордась А. А. Ход роста культур сосны скрученной в подзоне средней тайги // Лесной журнал. 2005. № 1–2. С. 22–32.
6. Elfving B., Ericsson T., Rosvall O. The introduction of lodgepole pine for wood production in Sweden – a review // Forest Ecology and Management. 2001. Vol. 141. P. 15–29.
7. Elfving B., Norgén O. Volume yield superiority of lodgepole pine compared to Scots pine in Sweden // *Pinus contorta* from untamed forest to domesticated crop. Umea, 1992. P. 69–80.
8. Ericsson T. Lodgepole pine (*Pinus contorta* var. *latifolia*) breeding in Sweden. Umea: Swed. Univer. of Agricult. Sciences, 1994. 33 p.
9. Weissenberg K. Seventy years experience of lodgepole pine in Finland // Proceedings of the IUFRO joint meeting of working parties. Canada: Vancouver, 1978. Vol. 2. 24 p.

УДК 630\*653

**ВИКТОР АЛЕКСАНДРОВИЧ РЯХИН**

кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой  
лесного хозяйства лесоинженерного факультета ПетрГУ  
*vriahin@psu.karelia.ru*

**СЕРГЕЙ МИХАЙЛОВИЧ СИНЬКЕВИЧ**

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заместитель  
директора Института леса Карельского научного центра РАН  
*sergei.sinkevich@krc.karelia.ru*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ РЕШЕНИИ ЛЕСОТАКСАЦИОННЫХ ЗАДАЧ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

В статье обоснованы и представлены методы практического использования электронных таблиц в процессе обучения специалистов решению основных задач лесной таксации.

Ключевые слова: лесная таксация, образование, электронные таблицы

Лесная таксация является одной из дисциплин, методы которой широко используются и в других лесохозяйственных дисциплинах. Одним из условий этого служит то, что она опирается на точный математический аппарат, на конкретные измерения и формулы, отражающие связи между таксационными показателями отдельного древесного ствола и древостоя в целом. Это дает возможность объективно оценивать изучаемые объекты. Ранее разработанные для нужд лесохозяйственной практики и закрепленные действующими стандартами методы оценки лесных ресурсов, как правило, опираются на использование достаточно громоздких справочных таблиц. При этом совершенствование процесса обучения в направлении включения в него элементов исследования ограничивается применением относительно простых уравнений, позволяющих описывать только парные зависимости.

Современная компьютерная техника позволяет выявлять сложные, множественные связи в строении насаждений как на уровне отдельных стволов, так и для древостоя в целом. Цель данной статьи – описание примеров решения такого рода задач лесной таксации в процессе подготовки специалистов лесного хозяйства.

Первая задача связана с определением объема древесного ствола по сложной формуле Губера [1]. Данная методика, несмотря на большое количество разработанных в последние десятилетия сложных функций, остается первоосновой и главным критерием оценки последних и потому является первым шагом в освоении и понимании способов определения запаса древостоя в целом:

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n + V_{\text{верш.}}$$

где  $V_1, V_2, \dots, V_n$  – объемы отдельных секций ствола,  $V_{\text{верш.}}$  – объем вершинной части.

В соответствующих ячейках электронной таблицы задаются длина секций, на которые разделяется ствол, длина вершины в настоящее время, а также длина вершины 10 лет назад. В первой колонке таблицы (А) начиная со строки 8 указываются диаметры на середине длины секций в коре. В колонках В и С соответственно – диаметры без коры и 10 лет назад. В ячейки А25–С25 вводятся диаметры основания вершины соответственно в коре, без коры и 10 лет назад. В колонках D, E, F получаем объемы секций по формулам объемов цилиндров, в строке 25 этих колонок – объем вершины ствола.

	A	B	C	D	E	F
1						
2	<b>Определение объема ствола</b>					
3		2	длина секций ствола			
4		1,6	длина верхинки			
5		0,8	длина верхинки 10 лет назад			
6	диаметр ствола, см			объем ствола, куб. м		
7	в коре	без коры	10 лет назад	в коре	без коры	10 лет назад
8	17,5	16,0	15,3	0,0481	0,0402	0,0368
9	16,3	15,0	14,3	0,0417	0,0353	0,0321
10	15,1	14,1	13,4	0,0358	0,0312	0,0282
11	13,4	12,4	11,7	0,0282	0,0242	0,0215
12	11,7	11,1	10,3	0,0215	0,0194	0,0167
13	10,2	9,6	8,6	0,0163	0,0145	0,0116
14	8,0	7,4	6,4	0,0101	0,0086	0,0064
15	5,3	4,8	3,8	0,0044	0,0036	0,0023
16				0,0000	0,0000	0,0000
17				0,0000	0,0000	0,0000
18				0,0000	0,0000	0,0000
19				0,0000	0,0000	0,0000
20				0,0000	0,0000	0,0000
21				0,0000	0,0000	0,0000
22				0,0000	0,0000	0,0000
23			<b>Итого:</b>	<b>0,2062</b>	<b>0,1770</b>	<b>0,1556</b>
24	Диаметры верхинки					
25	3,8	3,3	2,3	0,0006	0,0005	0,0001
26			<b>Всего:</b>	<b>0,2068</b>	<b>0,1774</b>	<b>0,1557</b>

Рис. 1. Расчет объема ствола срубленного дерева

Пример расчетов приведен на рис. 1, воспроизводящем вид табличного приложения, разработанного в среде MS Excel.

Данная работа является начальной при выполнении практических заданий в курсе «Лесная таксация» для студентов специальности «Лесное хозяйство». Для расчета объема ствола вручную с использованием вспомогательных таблиц [2] студенту требуется не менее часа. При этом возможны ошибки, которые получаются как при работе с таблицами, так и при арифметических подсчетах. Используя разработанное приложение, можно, затратив на ввод информации всего 2–3 минуты, получить достоверные данные по объемам древесных стволов. Данное приложение может быть использовано при обработке больших массивов первичных материалов, требующихся, например, при дипломном проектировании.

Следующая задача направлена на установление выхода групп сортиментов различной ценности и крупности из общего запаса древесины, имеющейся на делянке, а также ее стоимости (материально-денежная оценка). Она также решается с помощью приложения, разработанного в MS Excel. Пример расчета приведен на рис. 2.

При работе с данным приложением в первую очередь необходимо предварительно установить разряд высоты древостоя соответствующей породы. С учетом породы и установленного разряда высот выбирается нужный лист таблицы (в приведенном примере – сосна 6 разряда А<sub>7</sub>).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	<b>Материально-денежная оценка делянки</b>																
2																	
3		Сдел.=	5		Сперс	0,5		K=	10								
4																	
5	порода	Диаметр	Объем	число деревьев	Деловая древесина				Дрова			Товар-	Отходы	Всего			
6	разряд	на 1.3 м	ствол	делов	дров.	итого	крупная	сред.1	сред.2	мелк.	итого	из дел.	из дров	итого	ная		
7	сосна 6	8	0,03	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0
8		12	0,08	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0
9		16	0,16	7	0	7	0,000	0,000	0,140	0,840	0,980	0,000	0,000	0,000	0,980	0,140	1,12
10		20	0,26	25	0	25	0,000	0,000	3,500	2,250	5,750	0,000	0,000	0,000	5,750	0,750	6,5
11		24	0,40	33	4	37	0,000	3,630	5,280	2,970	11,880	0,000	1,440	1,440	13,320	1,480	14,8
12		28	0,57	50	2	52	0,500	14,500	5,500	4,500	25,000	0,500	1,020	1,520	26,520	3,120	29,64
13		32	0,76	31	1	32	8,060	7,440	2,790	2,480	20,770	0,310	0,680	0,990	21,760	2,560	24,32
14		36	0,98	11	0	11	5,500	2,200	1,100	0,770	9,570	0,220	0,000	0,220	9,790	0,990	10,78
15		40	1,23	4	1	5	3,080	0,600	0,480	0,200	4,360	0,120	1,120	1,240	5,600	0,550	6,15
16		44	1,48	5	0	5	5,100	0,500	0,600	0,300	6,500	0,250	0,000	0,250	6,750	0,650	7,4
17		48	1,80	0	1	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,640	1,640	1,640	0,160	1,8
18	итого на Сперсч.			166	9	175	22,240	28,870	19,390	14,310	84,810	1,400	5,900	7,300	92,110	10,400	102,51
19	итого на делянке			1660	90	1750	222,4	288,7	193,9	143,1	848,1	14	59	73	921,1	104	1025,1
20																	
21	миним. ставка	руб/куб.м					2	1	1	0,8				0,5			
22	лесные подати,	руб					444,80	288,70	193,90	114,48	1041,9			36,50	1078,38		

Рис. 2. Расчет материально-денежной оценки лесосеки

В соответствующие ячейки листа вводятся следующая информация: площадь делянки ( $S_3$ ), площадь частичного (ленточного) перечета ( $F_3$ ). Получаем значение переводного коэффициента, равного отношению  $S_3$  к  $F_3$ . Также необходимо ввести данные о количестве деловых ( $D_7 \dots, D_{17}$ ) и дровяных ( $E_7 \dots, E_{17}$ ) деревьев по ступеням толщины. В случае отсутствия деревьев отдельных категорий соответствующие ячейки следует

заполнять нулями. Итогом проделанной работы является автоматический расчет данных о выходе крупной, средней и мелкой деловой древесины, дровяной древесины и т. д. как в отдельных ступенях толщины, так и в целом по породе (строки 18 и 19). В строку 22 вводятся 4 значения минимальных ставок за 1 м<sup>3</sup> древесины соответственно крупной, средней, мелкой деловой и дровяной ( $G_{22}, H_{22}, I_{22}, J_{22}$ ). Минимальная став-

ка  $1 \text{ м}^3$  древесины, отпускаемой на корню, определяется регионом, расстоянием вывозки заготовленной древесины, древесной породой и категорией крупности и годности. В результате расчетов в ячейках  $G_{23}$ ,  $H_{23}$ ,  $I_{23}$ ,  $J_{23}$ ,  $K_{23}$ ,  $N_{23}$ ,  $O_{23}$  получаем величину лесных податей (стоимости древесины на корню) по отдельным категориям и в целом по породе.

Обработка материалов вручную с использованием «сортиментных таблиц» [4] требует до одного часа в зависимости от количества ступеней толщины конкретной древесной породы и опыта работы студента с этими таблицами. С использованием же разработанного приложения для ввода необходимой информации по одной древесной породе требуется 2–3 минуты. Помимо этого, автоматизированная обработка материалов исключает возможные ошибки, которые неизбежно возникают при расчетах вручную. Описанное приложение существенно облегчает обработку полевых материалов при написании курсовых проектов и дипломном проектировании.

В процессе летней практики по лесной таксации студенты самостоятельно закладывают пробные площади, что является одновременно проверкой их знаний и навыков, ранее полученных при изучении курса геодезии.

Высокая мозаичность условий местопроизрастания, характерная для Карелии, зачастую затрудняет подбор прямоугольных однородных участков необходимого размера для закладки пробных площадей. В этой ситуации невязки буссольной съемки границ, а также ошибки, нередко возникающие при вычерчивании схемы участка, могут существенно влиять на точность определения запаса древостоя.

Чтобы избежать этих отрицательных моментов, было разработано приложение для табличного процессора MS Excel, позволяющее автоматизировать процесс обработки результатов съемки границ и изготовления схемы участка. При этом вычерчивание схемы с помощью транспортира и линейки заменяется определением прямоугольных координат вершин многоугольника путем решения элементарных тригонометрических уравнений. Приложение включает три листа – «Таблица», «Схема» и «Справка».

Данные буссольной съемки – азимуты, длины и уклоны линий – вводятся в соответствующие столбцы и строки таблицы.

Азимутальные углы вводятся в градусах и минутах, расстояния задаются в метрах, уклоны – в градусах. В качестве точки № 1 принимается первая точка стояния угломерного инструмента с условными координатами ( $X = 0$ ;  $Y = 0$ ). Направление на север совпадает с осью  $Y$  и соответствует азимуту 0 или 360 градусов. Приложением допускается наличие в одном контуре до 14 углов (см. таблицу). В случае идеального качества съемочных работ точка № 15 должна совпасть с № 1.

При вводе данных в клетки листа «Таблица» на листе «Схема» появляются границы участка на фоне сетки прямоугольных координат (рис. 3). Изменение или удаление ошибочно введенных данных выполняется стандартными средствами клавиатурного ввода (клавиши Del и BackSpace).

Форма ввода данных съемки границ участка

Линии	Азимут		Промер (метры)	Уклон (град.)
	град.	мин		
1–2	90		50	
2–3	175	30	50	
3–4	270		100	4
4–5	2	30	50	
5–6	20	20	50	
6–7	70	40	37	7
7–8	190		57	2
–	–	–	–	–
13–14	–	–	–	–
14–15	–	–	–	–
Невязка (м) =			5,7	
Площадь (кв. м) =			6 210	

Форма составных фигур, линия периметра которых имеет самопересечения, отображается на листе «Схема» правильно, но площадь их определяется некорректно.

По окончании ввода в итоговых полях таблицы можно видеть значения линейной невязки буссольного хода и площади участка (см. таблицу).

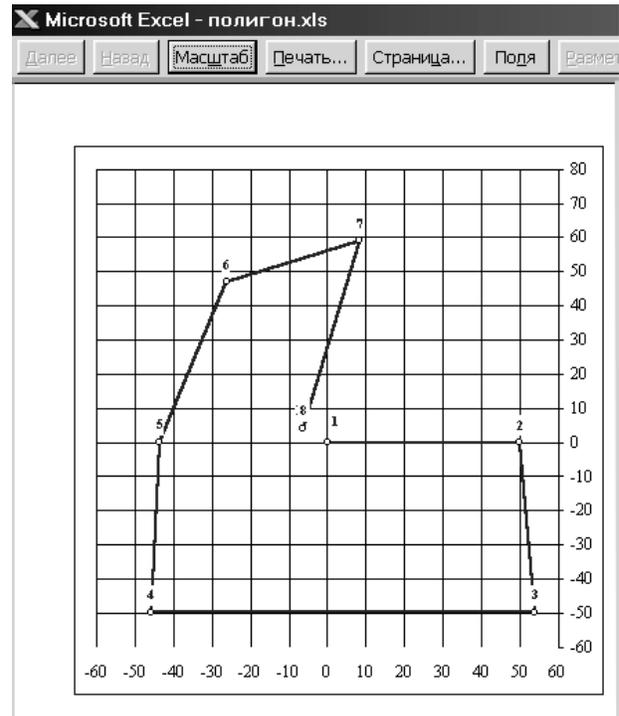


Рис. 3. Схема границ участка, рассчитанная по данным съемки

Для исключения возможных ошибок определения площади возможно путем визуальной оценки и корректировки углов и расстояний минимизировать суммарную линейную невязку буссольного хода. Учет магнитного склонения и влияния локальных магнитных аномалий в данном приложении не предусматривается.

На листе «Схема» доступна корректировка масштаба путем изменения диапазонов координатных осей стандартными средствами меню «Формат оси – Шкала». Перед выводом схемы на печать посредством изменения полей листа (меню «Файл – Параметры страницы – Поля») регулируется равномерность масштаба обеих координатных осей. Лист приложения «Справка» содержит краткую инструкцию по его использованию.

Определение таксационных показателей насаждения на заложенной пробной площади может осуществляться различно, в зависимости от цели выполняемой работы, которая в любом случае включает достаточно большой объем простых вычислений. Автоматизация этой трудоемкой процедуры позволяет обучаемым сосредоточиться на осмыслении результатов, тем самым давая возможность более глубокого понимания лесотаксационных закономерностей.

Обычной практикой расчета запаса древостоя является применение таблиц объемов стволов по разрядам высот, изначально разработанных для отводимых в рубку спелых насаждений с невысокой вариабельностью размеров стволов. Данная методика реализована в описанном выше приложении, ориентированном на знакомство обучаемых со способами определения товарной структуры насаждений и их материально-денежной оценки.

Однако применительно к средневозрастным древостоям, ставшим в последние десятилетия объектом интенсивной хозяйственной деятельности, детальное рассмотрение графиков высот показывает, что даже в пределах одного элемента леса приходится использовать табличные значения двух-трех соседних разрядов. Без такой поправки методика может вносить недопустимые погрешности, избежать которые позволяет только увеличение объема вычислительной работы. Кроме того, применение в таблицах разрядов высот 4-сантиметровых ступеней толщины вступает в противоречие с нормативами закладки пробных площадей (ОСТ 56–69–83), согласно которым в ряде случаев требуется применять 2- и 1-сантиметровые ступени толщины. Решением этой проблемы, как правило, бывает интерполяция табличных данных, требующая большого внимания и также существенно увеличивающая объем работы.

В случае компьютерной обработки данных пробных площадей разработка приложений для электронных таблиц значительно упрощается путем описания основных закономерностей с помощью формул. Для условий Карелии объемы стволов основных лесобразующих пород могут быть вычислены по формулам вида:

$$V = (H + 2) \cdot (a_1 + a_2 \cdot D + a_3 \cdot D^2) / 2200,$$

где  $V$  – объем ( $m^3$ ),  $H$  – высота (м),  $D$  – диаметр на высоте 1,3 м (см),  $a_1, a_2, a_3$  – коэффициенты.

Формулы для сосны, ели и березы предложены Н. И. Казимировым [3]; для осины коэффициенты уравнения того же вида рассчитаны методом множественного регрессионного анализа по данным местных таблиц [5].

Приложение, разработанное в среде MS Excel для обработки пробных площадей, включает листы «Перечеты», «Высоты», «График» и «Разряды» (рис. 4). Оно предусматривает наличие данных перечета по четырем основным породам и стандартным категориям качества, а также замеров высот и диаметров в количестве, достаточном для построения графиков.

На листе «Высоты» вводятся высоты и диаметры до 50 деревьев основных пород, колонки для которых окрашены принятыми в лесной картографии цветами. Данные о каждом дереве занимают отдельную строку таблицы. В результате на листе «График» формируется корреляционное поле точек, распечатав которое на принтере, можно вручную построить отдельные или обобщенные графики высот по породам. В случае углубленного исследования закономерностей строения древостоев обучаемые могут использовать для построения графиков аппроксимацию зависимостей простейшими криволинейными функциями, доступными в MS Excel.

Полученные с помощью графиков значения высот по ступеням толщины вводятся в соответствующие ячейки колонки «Высота» (рис. 4), что позволяет рассчитать значения объемов стволов. Затем после ввода данных о площади участка и количестве деревьев разных категорий по ступеням толщины происходит расчет средних диаметров, абсолютных полнот, запасов и формулы состава древостоя. При необходимости, в оговоренных таксационными нормативами случаях, шаг ступеней толщины может быть изменен на произвольный, более соответствующий целям исследования.

В случае недостаточности полевых наблюдений для построения графиков высот могут быть использованы путем прямого копирования содержащиеся на листе «Разряд» данные таблиц подходящих разрядов высот, интерполированных до 2-сантиметровых ступеней толщины.

Рассмотренные в статье приложения имеют функциональные аналоги среди программ соответствующего назначения, которые в составе автоматизированных систем учета лесных ресурсов эксплуатируются лесными предприятиями и организациями Карелии в повседневной практике для выполнения производственных расчетов. Однако их использованию в учебных целях препятствует необходимость работы только в составе большой системы, а также крайняя ограниченность выдаваемой на печать итоговой информации. В таком виде они не могут способствовать освоению основного учебного материала, а также не могут быть использованы для проверки знаний обучаемых.

	А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	И	Ж	К	Л	М	Н	О	Р
1	Площадь пробы = 0,237 га															
2	Сосна															
3	Ступ	Кол-во деревьев шт.				Сумма площ. сечений кв.м				Высо	Уств	Запас, кбм				
4	толщ	дел	п/д	дров	сух	дел	п/д	дров	сух	та, м	кбм	дел	п/д	дров	сух	
5	6		3	5	8		0,008	0,014	0,023	8,0	0,013		0,040	0,067	0,108	
6	8	3		4	5	0,015		0,020	0,025	10,0	0,028	0,083		0,110	0,138	
7	10	20	3		2	0,157	0,024		0,016	12,0	0,049	0,980	0,147		0,098	
8	12	13	10			0,147	0,113			14,0	0,079	1,031	0,793			
26	48	4	1			0,724	0,181			23,0	1,860	7,439	1,860			
27	50				2				0,393	23,2	2,032				4,065	
29	пп	40	17	9	17	1,043	0,326	0,034	0,456			9,53	2,84	0,18	4,41	
30	1 га	169	72	38	72	4,40	1,38	0,14	1,92			40,2	12,0	0,7	18,6	
31	живые	278				5,92				53,0						
32	Ср. диаметры, см		18,2	15,6	7,0	18,5										
33	Ель															
34	Ступ	Кол-во деревьев шт.				Сумма площ. сечений кв.м				Высо	Уств	Запас, кбм				
35	толщ	дел	п/д	дров	сух	дел	п/д	дров	сух	та, м	кбм	дел	п/д	дров	сух	
36	6									5,0	0,010					
144	Итого на 1 га по всем породам первого яруса															
145	Поро	К-во деревьев шт/га				Сумма площ. сечений кв.м/га				Запас, кбм/га						
146	-ды	дел	п/д	дров	сух	дел	п/д	дров	сух	жив	живых	дел	п/д	дров	сух	
147	С	169	72	38	72	4,40	1,38	0,14	1,92	5,9	53,0	40,2	12,0	0,7	18,6	
148	Е	236	13	21		3,77	0,32	0,42		4,5	29,9	24,5	2,5	3,0		
149	Б	127	38	55		2,31	0,85	1,12		4,3	18,0	4,4	6,0	7,6		
150	Ос			291				4,13		4,1	24,4			24,4		
151	Всего	532	122	405	72	10,5	2,6	5,8	1,9	18,9	125,3	69,1	20,5	35,7	18,6	
152					С	Е	Б	Ос								
153					Состав	4,2	2,4	1,4	1,9							

Рис. 4. Форма ввода и обработки перчета на пробной площади

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анучин Н. П. Лесная таксация: Учебник для вузов. М.: ВНИИЛМ, 2004. 552 с.
2. Горский П. В. Руководство для прохождения летней и зимней практики по лесной таксации. Петрозаводск, 1950. 102 с.
3. Казимиров Н. И., Кабанов В. В. Лесотаксационные таблицы. Петрозаводск, 1976. 32 с.
4. Сортиментные и товарные таблицы для лесов Северо-Запада европейской части СССР. М.: Изд-во ЛТА, 1987. 102 с.
5. Таблицы для оценки древесного сырья в лесах Карелии. Петрозаводск, 1978. 26 с.

УДК 519.6, 539.2

**ЮРИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ ЗАЙКА**

доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией моделирования природно-технических систем Института прикладных математических исследований КарНЦ РАН, профессор кафедры прикладной математики и кибернетики математического факультета ПетрГУ  
 zaika@krc.karelia.ru

**ЕКАТЕРИНА КОНСТАНТИНОВНА КОСТИКОВА**

стажер-исследователь Института прикладных математических исследований КарНЦ РАН, инженер кафедры математического моделирования систем управления математического факультета ПетрГУ  
 fedorova@krc.karelia.ru

### РАЗНОСТНАЯ СХЕМА ДЛЯ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ТДС-ДЕГАЗАЦИИ С ДИНАМИЧЕСКИМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ

Рассматривается дегазация пластины, предварительно насыщенной водородом. Эксперимент проводится методом термодесорбционной спектрометрии. В статье приводятся результаты численного моделирования. В соответствующей краевой задаче с нелинейными динамическими граничными условиями учтены основные физико-химические процессы переноса в объеме и на поверхности материала: растворение, обратимый захват дефектами, диффузия и десорбция.

Ключевые слова: водородопроницаемость, краевые задачи, динамические граничные условия, разностные схемы

**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

Водород рассматривается как один из перспективных экологически чистых энергоносителей. Кроме того, безопасность систем транспортировки и переработки углеводородного сырья во многом определяется уровнем защиты конструктивных материалов от водородной коррозии. Экспериментальный метод термодесорбционной спектрометрии (ТДС) является одним из основных при исследовании взаимодействия водорода с твердым телом (см., например, [3], [5], [8]). Пластина толщины  $\ell$  из металла или сплава, нагретая до температуры  $T = \bar{T}$ , находится в камере с газообразным водородом под давлением  $\bar{p}$ . После насыщения растворенным атомарным водородом образец быстро охлаждается (отключается ток нагрева), камера вакуумируется, и в условиях медленного нагрева с помощью масс-спектрометра определяется десорбционный поток. По этой экспериментальной информации судят о характеристиках взаимодействия водорода с исследуемым материалом. Учет дефектов (ловушек) и динамических процессов на поверхности проводится в соответствии с [1], [4]. В статье остановимся на прямой задаче, параметрическая идентификация исследуется в [6], [10].

Рассмотрим симметричную по постановке эксперимента краевую задачу ТДС-дегазации:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - \sum_{v=1}^m (a_v^- [1 - Z_v] c(t, x) - a_v^+ z_v(t, x)),$$

$$Z_v \equiv \frac{z_v(t, x)}{z_{\max}^v},$$
(1)

$$\frac{\partial z_v}{\partial t} = a_v^-(T) [1 - Z_v] c(t, x) - a_v^+(T) z_v(t, x),$$

$$t \in (0, t_*), \quad x \in (0, \ell),$$
(2)

$$c(0, x) = \varphi(x) = \varphi(\ell - x),$$

$$z_v(0, x) = \psi_v(x) = \psi_v(\ell - x), \quad x \in [0, \ell],$$
(3)

$$\frac{dq}{dt} = \mu s(T)p(t) - J(t) \pm D(T) \frac{\partial c}{\partial x} \Big|_{0,\ell},$$

$$J(t) \equiv b(T)q^2(t),$$

$$c_0(t) = c_i(t) = g(T)q(t), \quad t \in [0, t_*],$$

$$p(t) = \theta_1 \int_0^t J(\tau) \exp\left\{-\frac{\tau-t}{\theta_0}\right\} d\tau. \quad (4)$$

Здесь  $c(t, x)$  – концентрация атомарного водорода (Н), растворенного внутри пластины,  $c_0(t) \equiv c(t, 0)$ ,  $c_i(t) \equiv c(t, \ell)$ ;  $z_v(t, x)$  – концентрация Н, захваченного дефектами физико-химической структуры материала (например, в микрополостях);  $z_{\max}^v$  – максимальная концентрация Н в дефекте;  $a_j$  – коэффициенты поглощения и выделения Н ловушками;  $q(t)$  – поверхностная концентрация;  $D$ ,  $b$ ,  $g$  – коэффициенты диффузии, десорбции и быстрого растворения;  $\mu$  – кинетическая константа ( $\mu \approx 1,46 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ торр}^{-1}$ );  $s$  – коэффициент прилипания водорода в газовой фазе к поверхности;  $J(t)$  – плотность десорбционного потока (торцами пластины пренебрегаем);  $p(t)$  – давление молекулярного водорода в вакуумной камере. Для практических целей захват учтен в простейшей «интегральной» форме, уточнение геометрии дефектов и их распределения существенно усложнило бы модель. Если дефект – не микрополость, а, например, включения гидридной фазы, то соответствующий коэффициент –  $a_j^- = 0$ ,  $a_j^+ > 0$  лишь при  $T \geq T_{\text{crit}}$ , а  $\psi_j(x)$  обычно задается постоянной. Константы  $\theta_0$ ,  $\theta_1$  определяются характеристиками вакуумной установки:  $\theta_0$  – отношение объема камеры к скорости отбора газа,  $\theta_1$  – отношение площади пластины к объему камеры. Параметры модели  $D$ ,  $b$ ,  $g$ ,  $s$ ,  $a_j$  зависят от температуры  $T$ . Как правило, в «рабочем диапазоне» с достаточной точностью выполняется закон Аррениуса. Например,  $D(T) = D_0 \exp\{-E_D/RT\}$ ,  $D_0, E_D, R = \text{const}$ . Нагрев обычно линейный:  $T(t) = T_0 + vt$ ,  $v > 0$ . Сокращенно будем обозначать  $D(t) \equiv D(T(t))$ ,  $b(t) \equiv b(T(t))$ , ...

Более точная модель растворения определяется балансом потоков:

$$k^+(T)c_{0,\ell}(t) \left[1 - q(t)q_{\max}^{-1}\right] -$$

$$-k^-(T)q(t) \left[1 - c_{0,\ell}(t)c_{\max}^{-1}\right] = \pm D(T)c_x \Big|_{0,\ell}.$$

Но когда диффузия значительно медленнее проницаемости поверхности ( $D(T)c_x \approx 0$ ) и концентрации малы, получаем условие быстрой растворимости  $c_{0,\ell} \approx gq$ , где  $g = k^-/k^+$ . Если поверхность изотропна (в смысле  $E_k^- \approx E_k^+$ ), то  $g$  слабо зависит от  $T$ .

Уточним начальные данные. Равновесная концентрация насыщения  $\bar{c}$  удовлетворяет соот-

ношению  $\mu s \bar{p} = b \bar{c}^2 / g^2$ ,  $T = \bar{T}$  (производные в (4) равны нулю), модель соответствует диапазону  $\bar{c} \sim \sqrt{\bar{p}}$ . При непродолжительном начальном этапе ТДС-эксперимента (охлаждение и вакуумирование) имеем практически равномерное начальное распределение  $\varphi(x) = \bar{c}$ . Для ловушки с обратимым захватом (микрополость) константа  $\bar{z}_v = \psi_v(x)$  определяется в силу (2) ( $\partial/\partial t = 0$ ,  $T = \bar{T}$ ):  $a_v^-(\bar{T})[1 - \bar{z}_v/z_{\max}^v] \bar{c} - a_v^+(\bar{T}) \bar{z}_v = 0$ . Для некоторых значений параметров задача может оказаться жесткой:  $|\dot{q}(0)| \gg 1$ . Концентрация диффундирующего водорода симметрична относительно середины пластины, начальное вакуумирование длится некоторое (пусть и малое) время. Для уточнения начальных данных разумно принять  $\varphi(x) = \bar{c} - A[x - \ell_0]^2$ ,  $A > 0$ ,  $2\ell_0 = \ell$ . Константа  $A$  определяется подстановкой  $\varphi(x)$  в условие «мягкого старта»  $\dot{q}(0) = 0$  (равенство относительно: начальная температура  $T_0$  и скорость нагрева  $v$  достаточно малы). Функцию  $\psi_v(x)$  фиксируем соотношением

$$a_v^-(T_0)[1 - \psi_v/z_{\max}^v] \varphi - a_v^+(T_0) \psi_v = 0 (\approx 0).$$

Для дефекта типа включения гидридной фазы значения  $\bar{z}_v \equiv \psi_v(x)$ ,  $T_{\text{crit}}$ ,  $a_v^+$  задаются по информации о конкретном химическом составе гидрида. Без принципиальных изменений используются и более высокие степени для представления  $\varphi(x)$ .

Цель работы состоит в разработке вычислительного алгоритма для моделирования плотности десорбции  $J(t) = b(t)q^2(t)$ ,  $t \in [0, t_*]$  ( $J(t) \approx 0$ ,  $t \geq t_*$ ). Эта функция определяется из эксперимента, так что модельный поток  $J(t)$  необходим для качественных оценок, для обоснования и тестирования методов параметрической идентификации.

#### РЕШЕНИЕ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ: РАЗНОСТНАЯ СХЕМА

Следуя стандартной методике [2], [9], введем сетку  $\bar{d}_h^i$  с фиксированными шагами  $\tau$ ,  $h$  по  $t$ ,  $x$  в замкнутой области  $\bar{\Omega} = [0, t_*] \times [0, \ell]$ . Обозначим через  $c_i^k$  приближенные значения концентрации  $c(t_k, x_i)$ ,  $z_{i,v}^k \approx z_v(t_k, x_i)$ ,  $k \in \{0, \dots, M\}$ ,  $i \in \{0, \dots, N\}$ ,  $\tau = t_*/M$ ,  $h = \ell/N$ .

Рассмотрим схему с весами:  $D = D(\xi_k)$ ,  $a_v = a_v(\xi_k)$ ,  $\xi_k \in [t_k, t_{k+1}]$ ,

$$\frac{c_i^{k+1} - c_i^k}{\tau} = (1 - \sigma) \left[ D \frac{c_{i+1}^k - 2c_i^k + c_{i-1}^k}{h^2} - \sum_{v=1}^m \left( a_v^- [1 - Z_{i,v}^k] c_i^k - a_v^+ z_{i,v}^k \right) \right] +$$

$$+ \sigma \left[ D \frac{c_{i+1}^{k+1} - 2c_i^{k+1} + c_{i-1}^{k+1}}{h^2} - \sum_{v=1}^m \left( a_v^- [1 - \tilde{Z}_{i,v}^{k+1}] c_i^{k+1} - a_v^+ z_{i,v}^{k+1} \right) \right],$$

$$\frac{z_{i,v}^{k+1} - z_{i,v}^k}{\tau} = (1 - \sigma) \left[ a_v^- [1 - Z_{i,v}^k] c_i^k - a_v^+ z_{i,v}^k \right] +$$

$$+ \sigma \left[ a_v^- [1 - \tilde{Z}_{i,v}^{k+1}] c_i^{k+1} - a_v^+ z_{i,v}^{k+1} \right].$$

Здесь, чтобы иметь возможность использовать алгоритм прогонки на  $(k+1)$ -м слое по времени, неизвестную величину  $Z_{i,v}^{k+1}$  заменяем ее аппроксимацией из линейного по  $\tilde{Z}_{i,v}^{k+1}$  уравнения

$$\tilde{Z}_{i,v}^{k+1} = Z_{i,v}^k + \frac{\tau}{2} \left[ a_v^-(t_k) \left[ 1 - Z_{i,v}^k \right] c_i^k (z_{\max}^v)^{-1} - a_v^+(t_k) Z_{i,v}^k + a_v^-(t_{k+1}) \left[ 1 - \tilde{Z}_{i,v}^{k+1} \right] c_i^k (z_{\max}^v)^{-1} - a_v^+(t_{k+1}) \tilde{Z}_{i,v}^{k+1} \right]. \quad (5)$$

В стандартных обозначениях  $\dot{y} = f(t, y)$  – это неявная схема  $y_{n+1} = y_n + [f_n + f_{n+1}] \tau/2$  для нормированного на  $z_{\max}^v$  уравнения (2) с фиксированной по времени функцией  $c \equiv c(t_k, x)$ . Итерационную процедуру уточнения  $\tilde{Z}_{i,v}^{k+1}$  укажем позже.

Для определенности полагаем  $\sigma = 1/2$ ,  $\xi_k = t_k + \tau/2$  [9; 280]. Погрешность аппроксимации есть  $O(\tau^2 + h^2)$ . Обозначим  $D(t_k + \tau/2) \equiv \hat{D}_k$ ,  $a_j(t_k + \tau/2) \equiv \hat{a}_{k,j}$ , выразим  $z_{i,v}^{k+1}$  из второго уравнения разностной схемы и подставим в первое. В обозначениях  $\kappa = 2h^2\tau^{-1}$ ,

$$V_i^k = \sum_{v=1}^m \frac{\hat{a}_{k,v}^- \left[ 1 - Z_{i,v}^k \right]}{\hat{a}_{k,v}^+ + 2\tau^{-1}}, \quad \tilde{V}_i^{k+1} = \sum_{v=1}^m \frac{\hat{a}_{k,v}^- \left[ 1 - \tilde{Z}_{i,v}^{k+1} \right]}{\hat{a}_{k,v}^+ + 2\tau^{-1}},$$

$$W_i^k = \sum_{v=1}^m \frac{\hat{a}_{k,v}^+ z_{i,v}^k}{\hat{a}_{k,v}^+ + 2\tau^{-1}}, \quad Q_i^{k+1} = 2 + \kappa \hat{D}_k^{-1} (1 + \tilde{V}_i^{k+1}),$$

$$F_i^k = c_{i-1}^k - \left[ 2 - \kappa \hat{D}_k^{-1} (1 - V_i^k) \right] c_i^k + c_{i+1}^k + 2\kappa \hat{D}_k^{-1} W_i^k,$$

получаем

$$c_{i-1}^{k+1} - Q_i^{k+1} c_i^{k+1} + c_{i+1}^{k+1} + F_i^k = 0, \quad k \geq 0. \quad (6)$$

Значения в начальный момент времени (на нулевом слое) известны:  $c_i^0 = \varphi(x_i)$ . Следуя методу прогонки, ищем приближенные значения концентрации в узлах сетки на  $(k+1)$ -м слое по времени в виде

$$c_i^{k+1} = \alpha_i c_{i+1}^{k+1} + \beta_i + \gamma_i c_0^{k+1}, \quad i = 1, 2, \dots, N-1, \quad k \geq 0. \quad (7)$$

Прогночные коэффициенты:  $\alpha_i = 1/(Q_i^{k+1} - \alpha_{i-1})$ ,  $\beta_i = \alpha_i (\beta_{i-1} + F_i^k)$ ,  $\gamma_i = \gamma_{i-1} \alpha_i$ ,  $i = 2, 3, \dots, N-1$ . Записав соотношение (6) для  $i = 1$ , получаем начальные коэффициенты:  $\alpha_1 = \gamma_1 = 1/Q_1^{k+1}$ ,  $\beta_1 = F_1^k/Q_1^{k+1}$ .

Ближайшая цель – найти значения  $c_0^{k+1}$ ,  $c_N^{k+1}$ , необходимые для реализации прогонки. Подставим  $p(t)$  в граничное условие (4):

$$\dot{q}(t) = \mu s(T) \theta_1 \int_0^t J(\eta) \exp\left\{ \frac{\eta-t}{\theta_0} \right\} d\eta - b(T) q^2(t) \pm D(T) \frac{\partial c}{\partial x} \Big|_{0,\ell}.$$

Запишем разностную аппроксимацию ( $x = \ell$ ):  $k \geq 0$ ,  $p_k \equiv p(t_k)$ ,

$$\frac{q_{k+1} - q_k}{\tau} = \frac{1}{2} \left[ \mu s_k p_k - b_k q_k^2 - D_k c_x(t_k, \ell) + \mu s_{k+1} p_{k+1} - b_{k+1} q_{k+1}^2 - D_{k+1} c_x(t_{k+1}, \ell) \right]. \quad (8)$$

Интеграл приближенно выражаем по формуле трапеций:

$$p_{k+1} = \theta_1 \int_0^{t_{k+1}} J(\eta) \exp\left\{ \frac{\eta-t_{k+1}}{\theta_0} \right\} d\eta =$$

$$= \exp\left\{ -\frac{\tau}{\theta_0} \right\} p_k + \theta_1 \int_{t_k}^{t_{k+1}} \dots d\eta \approx$$

$$\approx \exp\left\{ -\frac{\tau}{\theta_0} \right\} p_k + \frac{\theta_1 \tau}{2} \left[ J_{k+1} + \exp\left\{ -\frac{\tau}{\theta_0} \right\} J_k \right], \quad p_0 = 0. \quad (9)$$

Использовался и второй вариант. Воспользуемся для уравнения  $\dot{p} = -p/\theta_0 + \theta_1 J$  неявной схемой, указанной выше для  $\dot{y} = f(t, y)$ :

$$p_{k+1} = \frac{(2\theta_0 - \tau) p_k + \theta_0 \theta_1 \tau (J_k + J_{k+1})}{2\theta_0 + \tau}.$$

В граничном узле с точностью до  $O(h^2)$  имеем

$$2hc_x(t_j, \ell) \approx c_{N-2}^j - 4c_{N-1}^j + 3c_N^j, \quad j = k, k+1. \quad (10)$$

Значения концентрации на  $k$ -м слое уже известны. Для  $(k+1)$ -го слоя, подставляя значения  $c_{N-2}^{k+1}$  и  $c_{N-1}^{k+1}$  из соотношения (7), получаем

$$c_x(t_{k+1}, \ell) \approx \frac{1}{2h} \left[ (3 + \alpha_{N-1} (\alpha_{N-2} - 4)) c_N^{k+1} + (\gamma_{N-2} + \gamma_{N-1} (\alpha_{N-2} - 4)) c_0^{k+1} + (\beta_{N-2} + \beta_{N-1} (\alpha_{N-2} - 4)) \right].$$

В силу симметрии начальных данных в краевой задаче граничные концентрации равны, поэтому решение ищем при условии  $c_0^{k+1} = c_N^{k+1}$ . Аппроксимацию  $c_x(t_{k+1}, \ell)$  запишем более компактно:

$$2hc_x(t_{k+1}, \ell) \approx (H + G) c_N^{k+1} + B, \quad (11)$$

где  $H = 3 + \alpha_{N-1} \zeta$ ,  $G = \gamma_{N-2} + \gamma_{N-1} \zeta$ ,  $B = \beta_{N-2} + \beta_{N-1} \zeta$ ,  $\zeta = \alpha_{N-2} - 4$ . Соотношения (9)–(11) подставляем в (8), обозначив  $c_N^{k+1} = y$ :

$$\left[ \frac{b_{k+1}}{g_{k+1}^2} \left( 1 - \frac{\mu \theta_1 \tau}{2} s_{k+1} \right) \right] y^2 + \left[ \frac{2}{\tau g_{k+1}} + \frac{D_{k+1}}{2h} (G + H) \right] y + \Gamma = 0,$$

$$\Gamma \equiv \frac{b_k}{g_k^2} \left( 1 - \frac{\mu \theta_1 \tau}{2} \exp\left\{ -\frac{\tau}{\theta_0} \right\} s_{k+1} \right) (c_N^k)^2 + \left( \frac{3D_k}{2h} - \frac{2}{\tau g_k} \right) c_N^k +$$

$$+ \frac{1}{2h} (D_{k+1} B + D_k (c_{N-2}^k - 4c_{N-1}^k)) - \mu p_k \left( \exp\left\{ -\frac{\tau}{\theta_0} \right\} s_{k+1} + s_k \right).$$

Для второго варианта определения  $p_{k+1}$ :

$$\left[ \frac{b_{k+1}}{g_{k+1}^2} \left( 1 - \frac{\mu\theta_0\theta_1\tau}{2\theta_0 + \tau} s_{k+1} \right) \right] y^2 + \left[ \frac{2}{\tau g_{k+1}} + \frac{D_{k+1}}{2h} (G + H) \right] y + \Gamma = 0,$$

$$\Gamma \equiv \frac{b_k}{g_k^2} \left( 1 - \frac{\mu\theta_0\theta_1\tau}{2\theta_0 + \tau} s_{k+1} \right) (c_N^k)^2 + \left( \frac{3D_k}{2h} - \frac{2}{\tau g_k} \right) c_N^k +$$

$$+ \frac{1}{2h} (D_{k+1}B + D_k(c_{N-2}^k - 4c_{N-1}^k)) - \mu p_k \left( \frac{2\theta_0 - \tau}{2\theta_0 + \tau} s_{k+1} + s_k \right).$$

По физическому смыслу нас интересует положительный корень квадратного уравнения по  $y$ . Погрешность аппроксимации граничного условия –  $O(h^2 + \tau^2)$ , что согласуется с разностной схемой внутри пластины.

Изложим поэтапно алгоритм вычислений. Фиксируем значения  $\ell$ ,  $D_0$ ,  $E_D$ ,  $b_0$ ,  $E_b$ ,  $s_0$ ,  $E_s$ ,  $g$ ,  $\bar{c} = \bar{c}(\bar{p}, T)$ ,  $T_0$ ,  $v$ . Находим  $A > 0$  ( $\varphi(0) > 0$ ), подставляя квадратичное начальное распределение  $\varphi(x) = \bar{c} - A[x - \ell_0]^2$  в условие мягкого старта  $\dot{q}(0) = 0$ :

$$A = \ell_0^{-2} \left( \bar{c} + \ell_0^{-1} D g^2 b^{-1} \left( 1 - \sqrt{\bar{c} \ell b D^{-1} g^{-2} + 1} \right) \right) \Big|_{T_0}.$$

Задаем типы дефектов, соответствующие коэффициенты  $a_v$  и начальные распределения  $\psi_v(x)$ . На  $(k+1)$ -м слое по времени ( $k \geq 0$ ) алгоритм вычислений следующий.

1. Вычисляем по слою значения  $\tilde{Z}_{i,v}^{k+1}$  из уравнения (5).
2. В соответствии с соотношениями (6), (7) прямым ходом прогонки вычисляем наборы коэффициенты  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ .
3. Значения концентрации в граничных узлах определяем, решая квадратное уравнение относительно  $y = c_N^{k+1} = c_0^{k+1} > 0$ .
4. Обратным ходом прогонки по формуле (7) находим приближенные значения концентрации во всех внутренних узлах.
5. Вычисляем значения концентрации в дефектах из второго уравнения разностной схемы в объеме по формуле

$$z_{i,v}^{k+1} = z_{i,v}^k + \frac{\hat{a}_{k,v}^- \left[ (1 - Z_{i,v}^k) c_i^k + (1 - \tilde{Z}_{i,v}^{k+1}) c_i^{k+1} \right] - 2\hat{a}_{k,v}^+ z_{i,v}^k}{\hat{a}_{k,v}^+ + 2\tau^{-1}}$$

и давление  $p_{k+1}$  на  $(k+1)$ -м слое по времени.

6. Коррекция  $Z_{i,v}^{k+1}$  состоит в том, что теперь можно положить  $\tilde{Z}_{i,v}^{k+1} = z_{i,v}^{k+1} / z_{\max}^v$  и повторить вычисления по пунктам 2–5 до установления  $Z_{i,v}^{k+1} \approx \tilde{Z}_{i,v}^{k+1}$  (обычно двух-трех итераций достаточно).

Вычислительные эксперименты показали, что в рассматриваемом диапазоне параметров модели следует отдать предпочтение второму варианту определения  $p_{k+1}$  (по критерию мате-

риального баланса на отрезке времени проведения эксперимента).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

При реализации вычислений, помимо физических соображений, в качестве критерия правильности счета принят материальный баланс:

$$\int_0^\ell [\varphi + \sum \psi_v] dx + 2q(0) =$$

$$= \int_0^\ell [c(t, x) + \sum z_v(t, x)] dx + 2q(t) + 2 \int_0^\ell J(\tau) d\tau.$$

Из-за большого разброса порядков величин проводилось масштабирование:  $x = \ell \hat{x}$ ,  $\hat{x} \in [0, 1]$ ,  $\hat{c} = c/\bar{c} \in [0, 1]$ ,  $\hat{z} = z/\bar{c}$ ,  $\hat{q} = \hat{c}_{0,1}/(g\ell)$ ,  $\hat{D} = D/\ell^2$ ,  $\hat{J} = b\hat{q}^2$ ,  $\hat{b} = b\bar{c}\ell$ ,  $\hat{\mu} = \mu/(\bar{c}\ell)$ . В экспериментальной практике  $\ell$  обычно в пределах  $10^{-2} - 10^{-1}$  см,  $p \sim 0.1 - 10$  торр. Ограничимся  $\bar{c} \sim 10^{16} - 10^{19}$  1/см<sup>3</sup>,  $\bar{z} \sim 10^{14} - 10^{21}$  1/см<sup>3</sup>. Поверхность считаем изотропной:  $g \sim 10^{-3} - 100$  ( $g \approx k^-/k^+$ ,  $E_g \approx 0$ ). Укажем рассмотренные диапазоны аррениусовских параметров:

Диапазоны аррениусовских параметров

Параметр	Диапазон	Предэкспонента	E, кДж/моль
$D$ , см <sup>2</sup> /с	$10^{-10} - 10^{-3}$	$10^{-3} - 10^{-1}$	10–40
$b$ , см <sup>2</sup> /с	$10^{-25} - 10^{-4}$	$10^{-4} - 2 \cdot 10^{-1}$	50–120
$s$	$10^{-10} - 10^{-1}$	$10^{-3} - 2 \cdot 10^{-1}$	0–40
$a$ , 1/с	$10^{-6} - 10^{-1}$	$10^{-3} - 2 \cdot 10^{-1}$	0–20

Результаты численного моделирования (рис. 1–8) полностью соответствуют физическим представлениям. Общие значения параметров:  $\ell = 10^{-2}$ ,  $\bar{c} = 10^{18}$ ,  $T_0 = 300$  К,  $b_0 = 10^{-3}$ ,  $E_b = 90$ ,  $D_0 = 10^{-2}$ ,  $g_0 = 100$ ,  $E_g = 10^{-4}$ ,  $s_0 = 10^{-2}$ ,  $E_s = 20$ ,  $\theta_0 = 10^{-3}$ ,  $\theta_1 = 2$ . Варьируемые коэффициенты приводятся в порядке следования максимумов графиков слева направо или по их убыванию.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 09-01-00439).

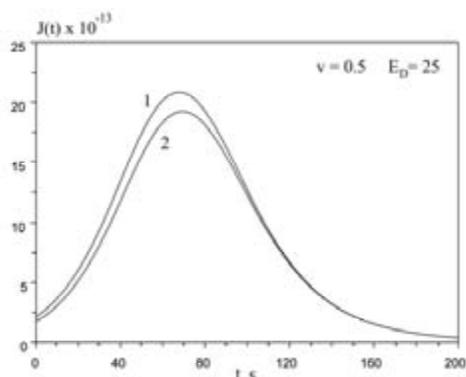


Рис. 1. Начальное распределение: 1 – равномерное, 2 – параболическое

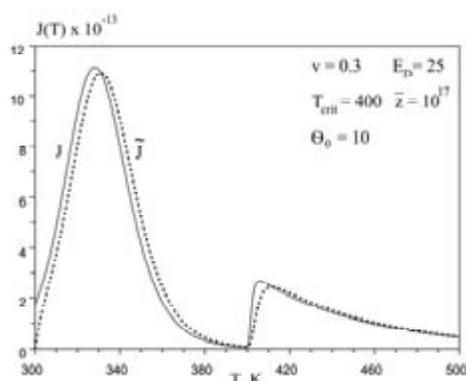


Рис. 2. ТДС-спектры  $J(T)$  и  $\tilde{J}(T) = p(T)/(\theta_0 \theta_1)$

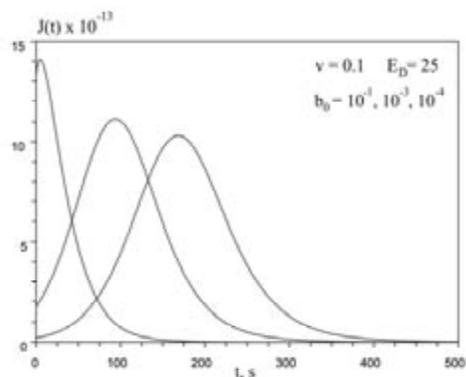


Рис. 3. Влияние параметра  $b_0$

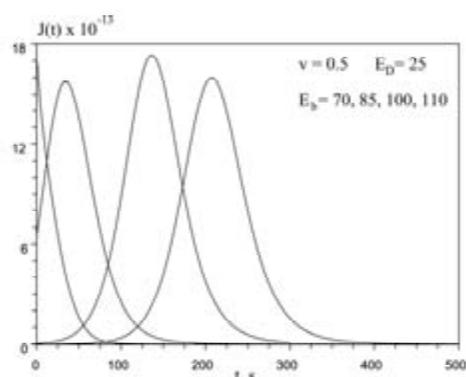


Рис. 4. Влияние параметра  $E_b$

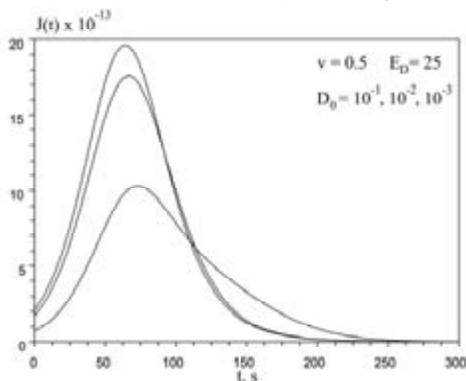


Рис. 5. Влияние параметра  $D_0$

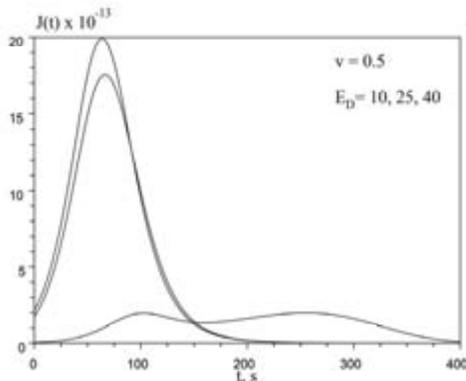


Рис. 6. Влияние параметра  $E_D$

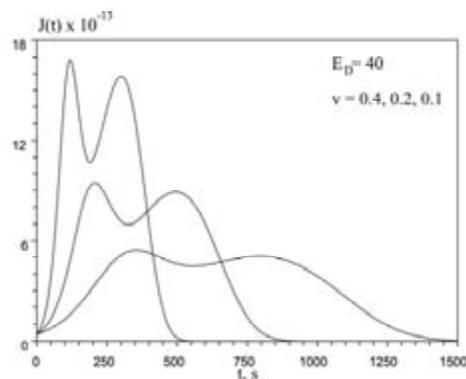


Рис. 7. Влияние скорости нагрева. ТДС-пик ( $t, J$ )

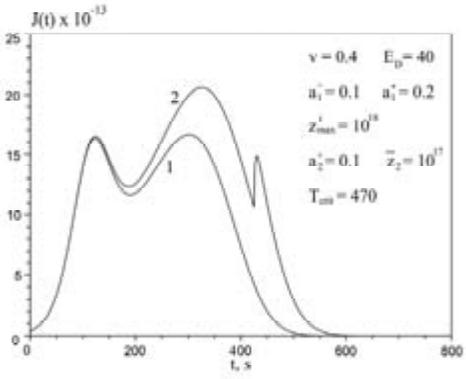


Рис. 8. Влияние дефектов: 1 – без дефектов, 2 – с дефектами двух типов

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бекман И. Н. Феноменологическое описание диффузии в дефектных средах // Взаимодействие водорода с металлами / Под ред. А. П. Захарова. М.: Наука, 1987. С. 143–177.
2. Власова Е. А., Зарубин В. С., Кувыркин Г. Н. Приближенные методы математической физики. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. 700 с.
3. Водород в металлах: Пер. с англ.; В 2 т. / Под ред. Г. Алефельда, В. Фёлькия. М.: Мир, 1981.
4. Габис И. Е., Компаниец Т. Н., Курдюмов А. А. Поверхностные процессы и проникновение водорода сквозь металлы // Взаимодействие водорода с металлами / Под ред. А. П. Захарова. М.: Наука, 1987. С. 177–206.
5. Гидридные системы: Справочник / Авторы: Колачев Б. А., Ильин А. А., Лавренко В. А., Левинский Ю. В. М.: Металлургия, 1992. 352 с.
6. Заика Ю. В. Параметрическая регуляризация модели водородопроницаемости с динамическими граничными условиями // Математическое моделирование. 2001. Т. 13. № 11. С. 69–87.
7. Мартинсон Л. К., Малов Ю. И. Дифференциальные уравнения математической физики. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. 368 с.
8. Проблемы дегазации металлов / Авторы: Кунин Л. Л., Головин А. И., Суровой Ю. И., Хохрин В. М. М.: Наука, 1972. 324 с.
9. Самарский А. А., Гулин А. В. Численные методы. М.: Наука, 1989. 432 с.
10. Zaika Yu. V. Identification of a hydrogen transfer model with dynamical boundary conditions // Int. J. of Mathematics and Mathematical Sciences. 2004. № 4. P. 195–216.

МАРГАРИТА ВЛАДИМИРОВНА БОГДАНОВА

преподаватель кафедры прикладной математики и кибер-  
нетики математического факультета ПетрГУ  
*bogdanov@karelia.ru*

### ИССЛЕДОВАНИЕ БАЗОВОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ

В статье рассматриваются вопросы постановки стохастической транспортной задачи, исследуются свойства базовой задачи, приводятся критерии существования оптимального решения задачи и метод решения.

Ключевые слова: стохастика, транспортная задача, базовая, случайная величина

Транспортная задача (ТЗ) часто используется при планировании производственных процессов предприятий ЦБП и крупных холдингов лесопромышленного комплекса. Однако область приложения классической транспортной задачи может быть существенно расширена посредством некоторой модификации ее содержания и условий, связанных с переходом к недетерминированным значениям мощностей вершин.

Действительно, цена перевозки единицы продукции может варьироваться в зависимости от объема перевозки, конъюнктуры цен, стоимости горючего и просто внешних по отношению к объекту управления обстоятельств. Еще хуже дело обстоит с объемами производства и потребления продукции, которые могут в еще большей степени зависеть от выполнения производственного плана, в условиях предприятий ЛПК – от погодных условий и пр. [5].

Рассмотрим классическую сетевую транспортную задачу [1], [3], заданную на сети  $G = \{V, E\}$  с параметрами  $c[E]$  – ценами перевозки,  $b[V]$  – мощностями узлов графа, потоками  $x[E]$  и  $A[V, E]$  – матрицей инцидентности графа  $G$ :

$$T : cx \rightarrow \min, Ax = b, x \geq 0. \quad (1)$$

Отметим, что в прикладной транспортной задаче структурная компонента достоверно известна и малоизменчива, но численные компоненты только условно являются детерминированными значениями.

Таким образом, возникает стохастическая ТЗ, численные компоненты которой являются случайными значениями, распределенными по определенным законам [4]. Фактически все важные ТЗ относятся к классу стохастических транспортных задач (СТЗ), поскольку их численные параметры не могут быть определены точно. Однако на практике решаются только ТЗ. Основная причина тому – отсутствие необходимого математического аппарата как средств постановки, так и решения подобных задач.

Стохастическая природа мощностей вершин сети означает возможное различие их плановых – детерминированных, установленных при постановке задачи значений, и фактически полученных при реализации, случайных. Стохастический характер мощностей вершин приводит к существенному изменению не только модели, но

и концепции решения данной задачи, а модификация уравнений баланса исключает прямое использование теории решения транспортных задач и приводит к серьезным проблемам алгоритмического характера.

Действительно, требование сбалансированности:

$$\sum_{i \in V} b_i = 0 \quad (2)$$

равенства нулю суммы нескольких случайных значений, противоречит природе рассматриваемого класса задач.

Это означает, что природа стохастики транспортной задачи в сетевой постановке, обусловленная случайными значениями правых частей ограничений  $b$ , связана с векторными распределениями компонент  $b$ .

Кроме того, возникает проблема определения оптимальности детерминированного решения транспортной задачи в условиях меняющихся правых частей задачи: действительно, вектор  $x \geq 0$ , который является решением системы  $Ax = b$ , чаще всего не будет являться решением системы линейных уравнений  $Ax = b$ .

Итак, исходная задача для дальнейшего исследования может быть сформулирована следующим образом. Пусть  $T_b$  – транспортная задача, вектор мощностей вершин которой  $b[V]$  является случайным вектором, заданным на множестве векторов  $B$  с индексным множеством  $V$ , причем для любого  $b \in B$  сумма

$$\sum_{i \in V} b_i = 0.$$

Требуется построить оптимальное решение  $x^* = x_B^*[V]$ , обеспечивающее наименьшее значение математического ожидания функции цели, которой соответствуют вектора правых частей уравнений баланса, распределенных с заданной плотностью  $p_B$  на множестве правых частей  $B$ .

Прежде всего обеспечим существование решений задачи (1). Для этого напомним, что граф  $G$  является сильно связным, если для любой пары его вершин  $i, j \in V$  существует путь из  $i$  в  $j$ , и докажем теорему 1.

**Теорема 1.** Транспортная задача (1) в сетевой постановке имеет оптимальное решение при любом векторе правых частей  $b$ , удовлетворяющем условию (2) тогда и только тогда, когда граф  $G$  – сильно связан.

Для доказательства достаточно определить условие, при котором задача (1) имеет допустимое решение при каждом установленном условии теоремы в векторе  $b$ . Действительно, из замкнутости и ограниченности многогранника допустимых решений транспортной задачи  $\Omega_b$  следует существование экстремума любого линейного функционала на множестве точек  $\Omega_b$  в случае его непустоты.

**Достаточность.** Установим что  $\Omega_b \neq \emptyset$  при любом  $b$  с условием (2), если  $G$  сильно связан. Это очевидно, если  $b = 0$ . Первоначально определим вектор  $b[V]$  равным вектору мощностей вершин –  $b[V] = b[V]$ . Пусть  $V' \subset V$  – множество вершин  $i \in V$ , для которых  $b[i] \neq 0$ . Тогда, по условиям теоремы, первоначально имеет место условие:

$$\sum_{i \in V'} b'_i = 0. \quad (*)$$

Построим допустимое решение (1) редуцией  $V'$ . Найдем вершину  $i \in V'$ , для которой  $\delta = |b[i]| > 0$  принимает наименьшее значение. В силу условия (\*) имеется вершина  $i' \in V' : |b[i']| > \delta, b[i] \cdot b[i'] < 0$ . Но в силу сильной связности графа  $\langle V, E \rangle$  существует путь из  $i$  в  $i'$ , следовательно, существует поток величины  $\delta$  из  $i$  в  $i'$ , и мощности этих двух вершин можно согласованно уменьшить на величину  $\delta$ , причем условие (\*) продолжит выполняться.

**Необходимость.** Пусть  $G$  не является сильно связным. Тогда имеется пара вершин  $i, i' \in V$ , такая, что путь из  $i$  в  $i'$  в графе  $G$  отсутствует. Положим  $b[i] = 1, b[i'] = -1$ , остальные значения  $b[i] = 0$  ( $i \neq i, i'$ ). Очевидно, что такая задача допустимого решения не имеет. На этом доказательство теоремы 1 закончено.

С целью установления понятия оптимальности логично ввести базовую, простейшую задачу рассматриваемого класса. С этой целью выберем некоторый числовой вектор  $b^0$ :

$$\sum_{i \in V} b^0 = 0,$$

два элемента  $i^-, i^+ \in V$ , и определим множество  $B$  как пару векторов  $b^0$  и  $b^1 = b^0 + \Delta b$ , где  $\Delta b[i^+] = \alpha > 0, \Delta b[i^-] = -\alpha < 0, \Delta b[i] = 0$ , если  $i \neq i^-, i^+$ , и плотностью  $0 < p < 1$  для  $b^0$  и  $1 - p$  для  $b^1$ .

Исследование этой задачи представляет не только теоретический, но и большой практический интерес. Действительно, при сведении многоэтапной задачи (например, оптимизации сезонной заготовки древесины) к вспомогательной транспортной, проблема стохастического характера сроков выполнения работ естественным образом интерпретируется вероятностным характером мощностей вершин графа, причем, независимо от реализации, мощности вершин будут сбалансированы.

Пусть  $x^0, z^0$  – оптимальное решение и значение функции цели задачи (1) для правых частей  $b^0$  и  $x^1, z^1$  – для правых частей  $b^1$ . Тогда взвешенная сумма с весами  $p$  и  $1 - p$  обеспечивает ожидаемое значение функции цели  $Z^* = pz^0 + (1 - p)z^1$  для плана  $X = px^0 + (1 - p)x^1$ , однако этот план не является допустимым ни для одной из этих задач.

Чтобы снять эту проблему, введем систему компенсаций за неполноту поставок. С этой целью модифицируем задачу (1) следующим образом:

$$T : cx + dy + Dw \rightarrow \min, \quad Ax + y - w = b, \quad (3)$$

$$x, y, w \geq 0.$$

Задачу (3) назовем транспортной задачей с компенсированными мощностями вершин. В условиях  $y, w \geq 0$  все уравнения баланса  $Ax + y - w = b$  соблюдаются, следовательно,  $x^0$  и  $x^1$  являются допустимыми решениями задачи (3). В такой ситуации возникает вопрос оптимальности решения  $X$  относительно вновь введенной компенсированной целевой функции.

С этой целью вычислим математическое ожидание функции цели для произвольного  $X \geq 0$  решения базовой задачи. Действительно, в случае  $b = b^0$  векторы  $y^0$  и  $w^0$  определяются соотношениями  $Ax + y^0 - w^0 = b^0$  и с вероятностью  $p$  обеспечивают значение целевой функции  $z^0 = cX + dy^0 + Dw^0$ . В случае  $b = b^1$  векторы  $y^1$  и  $w^1$  определяются соотношениями  $Ax + y^1 - w^1 = b^1$  и с вероятностью  $1 - p$  обеспечивают значение целевой функции  $z^1 = cX + dy^1 + Dw^1$ . Таким образом, математическое ожидание этого значения составляет:

$$E_z = (cX + dy^0 + Dw^0)p + (cX + dy^1 + Dw^1)(1 - p) =$$

$$= cX + d(py^0 + (1 - p)y^1) + D(pw^0 + (1 - p)w^1).$$

Учитывая, что векторы  $y^0, w^0$  и  $y^1, w^1$  определяются соотношениями:  $y^0 = \max\{b^0 - AX, 0\}$ ,  $w^0 = \max\{-b^0 + AX, 0\}$  и  $y^1 = \max\{b^1 - AX, 0\}$ ,  $w^1 = \max\{-b^1 + AX, 0\}$ , причем  $y^0[i] = y^1[i]$  и  $w^0[i] = w^1[i]$  для всех  $i \neq i_0$ , получим:

$$E_z = cX + \sum_{i \neq i_0} (d[i]y^0[i] + D[i]w^0[i]) + pd \max\{b^0[i_0] -$$

$$- A[i, E]X[E], 0\} + (1 - p)d \max\{b^1[i_0] - A[i_0, E]X[E], 0\} +$$

$$+ pD \max\{b^0[i_0] - A[i_0, E]X[E], 0\} + (1 - p)D \max\{b^1[i_0] -$$

$$- A[i_0, E]X[E], 0\} = cX + \sum_{i \neq i_0} (d[i]y^0[i] + D[i]w^0[i]) + \varphi$$

Здесь  $\varphi = -(1 - p)\alpha D[i]$ , если  $y^0[i] \geq 0$ ,  
 $\varphi = p\alpha d[i]$ , если  $y^0[i] \geq -\alpha$ ,  
 $\varphi = -(1 - p)y^0[i]\alpha d[i] + p(y^0[i_0] + \alpha)D[i]$ , если  $y^0[i] < 0 < y^0[i] + \alpha$ .

На практике величина этой функции – плата за отклонение мощности вершины от требуемой величины – измеряется в тех же денежных единицах, что и затраты на перевозку продукции. Будет также естественно предположить, что в практически востребованных случаях эта функция является кусочно-линейной, выпуклой и  $\varphi_i(0) = 0$ .

В таком случае СТЗ приобретает содержание поиска детерминированного потока в заданной транспортной сети, для которого сумма затрат на перевозку продукта, увеличенная на математическое ожидание суммарного штрафа за отклонение мощностей вершин, составляет наименьшее возможное значение.

Значение целевой функции СТЗ для заданного детерминированного плана  $x$  также можно истолковать как среднее значение затрат на перевозку продукции и выплату штрафных значений за отклонения требуемых поставок по всем вершинам транспортной сети с учетом распределения ожидаемых мощностей вершин.

Рассматриваемая задача относится к классу стохастических задач оптимизации с большим числом переменных, на практике достигающих количества нескольких тысяч. Известно, что решение подобных задач сопряжено с большими трудностями и существенно сложнее решения аналогичных детерминированных оптимизационных задач.

Тем не менее в некоторых, достаточно общих случаях практическое решение СТЗ сводится к решению обычной сетевой ТЗ специального вида с некоторым расширением размерности исходной задачи и не требует специальных методов решения [2].

При этом для решения полученной задачи можно использовать обычный метод потенциалов, а размерность специально конструируемой вспомогательной сети увеличивается несущественно.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беленький А. С. Исследование операций в транспортных системах. М.: Мир, 1992. 684 с.
2. Богданова М. В. Транспортные задачи со стохастическими мощностями вершин // Информационные технологии моделирования и управления: Научно-технический журнал. № 2 (54). Воронеж: Научная книга, 2009. С. 180–185.
3. Булатов А. Ф., Воронин А. В., Кузнецов В. А., Пладов В. А., Шегельман И. Р. Оптимизация в планировании предприятиями регионального лесопромышленного комплекса. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2001. 217 с.
4. Воронин А. В., Богданова М. В. О транспортных блоках многоэтапных транспортно-производственных задач // Новые информационные технологии в ЦБП и энергетике: Материалы VIII Междунар. науч.-технич. конф., 2008 г. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2008. С. 38–39.
5. Воронин А. В., Кузнецов В. А. Математические модели и методы планирования и управления предприятием ЦБП. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2000. 256 с.

УДК 616.441-006

**НЕЛЛИ ПАВЛОВНА ВАЮТА**

кандидат медицинских наук, доцент кафедры госпитальной терапии медицинского факультета ПетрГУ  
vajuta@sampo.ru

### **ЛЕЧЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫМ ЙОДОМ ДОБРОКАЧЕСТВЕННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ, ПРОТЕКАЮЩИХ С СИНДРОМОМ ТИРЕОТОКСИКОЗА**

106 больным с доброкачественными заболеваниями щитовидной железы (ЩЖ), протекающих с тиреотоксикозом, проводилась радиоiodтерапия (РИТ). Анализировалась переносимость РИТ больными, ее побочные действия, эффективная доза введенного препарата, динамика функции и объемов ЩЖ через 6–12 месяцев после лечения. Была показана эффективность средних доз радиоактивного йода (110–240–340 МБК), отсутствие осложнений, констатация стойкого эутиреоза у 26 % и гипотиреоза у 74 % исследованных через 6–12 месяцев после РИТ. Уменьшение объема ЩЖ на 54,5 % и стойкое устранение тиреотоксикоза через 6 месяцев после лечения позволяют использовать РИТ как альтернативу струмэктомии больным с большим объемом ЩЖ и серьезной сопутствующей патологией с большим риском оперативного лечения.

Ключевые слова: заболевания щитовидной железы, тиреотоксикоз, радиоiodтерапия

В Республике Карелия в 1959 году была создана радиологическая лаборатория при гематологическом отделении Республиканской больницы. Одной из главных целей работы лаборатории было лечение радиоактивным йодом больных с заболеваниями щитовидной железы, протекающих с синдромом тиреотоксикоза. В начале 90-х годов XX века поставки йода были прекращены, РИТ была возобновлена в 2003 году. Таким образом, Республика Карелия относится к тем немногим регионам Российской Федерации, которым доступен этот эффективный, безопасный, относительно дешевый метод лечения больных с синдромом тиреотоксикоза, что и определяет его востребованность не только в нашей стране, но и в большинстве стран мира. Данному методу лечения посвящен в последнее время ряд работ (см., например, [1], [2], [3], [4], [5]).

Поскольку в последние годы изменились цели и показания к радиологическим исследованиям больных с патологией щитовидной железы, цели лечения больных с синдромом тиреотоксикоза (излечение это – гипотиреоз), снят возрастной ценз для использования радиоiodтерапии, мы решили проанализировать результаты лечения наших больных за последние годы и уточнить необходимость внесения коррекции в практику радиоiodтерапии.

**Цель** нашего исследования – оценить:

1. Показания к проведению РИТ у больных;
2. Переносимость больными РИТ и ее побочные эффекты (развитие пострadiaционных тиреоидитов);
3. Эффективную дозу вводимого радиофармпрепарата (йод-131 (I-131));
4. Эффективность терапии (достижение гипотиреоза или эутиреоза);

5. Динамику объема и функции щитовидной железы спустя 6–12 месяцев после РИТ.

**Анализировались** 106 историй болезни больных с синдромом тиреотоксикоза, лечившихся в эндокринологическом отделении РБ в 2005–2006 годах. Возраст больных от 20 до 79 лет: 20–30 (n – 6), 31–35 (n – 6), 36–40 (n – 13), старше 50 (n – 83), мужчин было 22, женщин – 84.

Этиологическая структура тиреотоксикоза у больных:

1. Диффузный токсический зоб (болезнь Грейвса) – 97 (91,6 %) больных.
2. Токсическая аденома – 3 (2,8 %) больных.
3. Диффузно-узловой токсический зоб – 6 (5,6 %) больных, «с функциональной автономией» – 3, без «функциональной автономии» – 3.

Серьезная сопутствующая патология (ИБС, фибрилляция предсердий) имела у 6 (5,6 %) больных.

#### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

У всех больных исследовался уровень св. Т4, ТТГ, УЗИ щитовидной железы, тест захвата щитовидной железой I-131 через 10 мин, через 2, 4, 6, 24 часа после введения радиофармпрепарата. При наличии узлов в щитовидной железе выполнялась тонкоигольная аспирационная биопсия узлов (ТАБ) для исключения онкопатологии, сцинтиграфия с ТХ-99 для выявления «функциональной автономии узлов».

У 20 больных через 5–6 дней после введения I-131 исследованы СОЭ, фибриноген, С-реактивный белок для исключения пострадиационного тиреоидита. У 27 (случайная выборка) через 6–12 месяцев после введения радиофармпрепарата в динамике исследовали УЗИ и ТТГ.

Все больные до введения изотопа получали тиреостатическую терапию (мерказолил, тиомазол). Тиреотоксикоз был устранен у 104 больных, в 2 случаях эутиреоз не достигнут из-за развития лейкопении на мерказолил. Всем больным с противопоказаниями к длительной консервативной терапии предлагались на выбор 2 альтернативных варианта лечения: РИТ или струмэктомия. Больные сделали выбор в пользу РИТ и дали подписку о согласии на ее проведение. За 10 дней до введения изотопа тиреостатические препараты отменялись.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Больные с диффузным токсическим зобом были разбиты на 4 группы:

1-я группа – 41 (38,6 %) больной с впервые диагностированной болезнью Грейвса, длительность заболевания – 3–4 месяца.

2-я группа – 37 (35,0 %) больных с рецидивом болезни Грейвса после отмены тиреостатической терапии через 1,5–2 года постоянного приема тиреостатических препаратов, длительность заболевания – от 3 до 5 лет.

3-я группа – 28 (26,4 %) больных с рецидивом тиреотоксикоза после струмэктомии. Длительность заболевания – до 10 лет, количество рецидивов тиреотоксикоза после операции – от 5 до 7.

4-я группа – 27 (25,5 %) больных из общей группы (случайная выборка пациентов). Оценивалась функция и объем щитовидной железы в динамике через 6–12 месяцев после введения I-131.

Во всех группах результаты исследования были однотипны, что позволило анализировать их одной общей группой.

Следует отметить помолодевший контингент больных, отобранных для РИТ. Если 10 лет тому назад это были преимущественно больные старше 50–60 лет, то после снятия возрастного ценза для РИТ в Республиканской больнице стали лечить больных молодого возраста. Лица от 20 до 40 лет составили 26 %.

Поскольку одним из показаний к РИТ является умеренное увеличение щитовидной железы до 40 мл, мы анализировали этот показатель по данным УЗИ. Объем щитовидной железы у исследованных колебался в больших пределах: от 16 до 128 мл. Больные были разделены на две подгруппы. Средний объем ( $M \pm SD$ ) соответствовал следующим величинам:  $29,0 \pm 10,74$  мл (n – 94);  $70,95 \pm 25,45$  мл (n – 12). У большинства больных он не превышал 40–50 мл, только у 6 человек зоб был от 60 до 130 мл. Это больные с большими зобами, серьезной кардиальной патологией, с высоким риском оперативного вмешательства и бесперспективностью дальнейшей длительной медикаментозной терапии. РИТ для них была альтернативой.

Обязательным условием РИТ является высокий захват изотопа щитовидной железой. У всех исследованных был диагностирован гипергест. Пределы колебаний максимального захвата I-131 щитовидной железой колебались от 42 % в единичных случаях до 92 %. Средние величины захвата I-131 при проведении теста через 6 часов после введения были равны –  $71,64 \pm 18,49$  %, через 24 часа –  $69,67 \pm 19,51$  %.

Показаниями к радиойодтерапии были определены следующие признаки:

1. Диффузный токсический зоб 1–2-й степени ( $29,0 \pm 10,7$  мл) – у 88,7 % больных.
2. Тяжелая сопутствующая кардиальная патология (ишемическая болезнь сердца, нарушения сердечного ритма, сердечная недостаточность) у больных с большим объемом зоба (от 60 до 130 мм) – у 5,6 %.
3. Диффузный токсический зоб, диагностированный впервые с умеренным и устраненным тиреотоксикозом – 38,6 %.
4. Рецидив тиреотоксикоза после многолетней консервативной терапии – 35,0 %.
5. Рецидивы тиреотоксикоза после струмэктомии – 26,4 %.
6. «Функциональная автономия» при узловых зобах (токсическая аденома, многоузловой токсический зоб) – 6,36 %.

7. Упорная лейкопения при приеме тиреостатиков – 1,5 %.

8. Гипертест с I-131 – 100 %.

Таким образом, выбор пациентов для РИТ соответствовал общепринятым критериям.

Несмотря на то что РИТ для лечения больных используется с 1942 года, вопрос о вводимой лечебной дозе I-131 до сих пор остается дискуссионным: в разных странах и лечебных учреждениях вопрос о дозе радиофармпрепарата решается по-разному: кто-то вводит фиксированную дозу I-131 – 200, 400, 600, 800 мБк или от 5 до 20 МКи; кто-то рассчитывает терапевтическую активность I-131 по формуле, учитывая объем щитовидной железы и процент захвата радиоактивного йода; кто-то определяет поглощенную ЩЖ дозу йода и, исходя из нее, рассчитывает терапевтическую активность вводимой дозы.

Доза вводимого всем нашим больным радиофармпрепарата определялась эмпирически. В Республиканской больнице в предшествующие годы рассчитывали поглощенную дозу по сложной формуле, определяя эффективный период полувыведения I-131, исследуя тест поглощения в течение 4–5 суток. Рассчитанная разовая доза не превышала 240 мБк и вводилась внутривенно. Поскольку внутривенно разрешено вводить не более 200 мБк радиоактивного йода, больным вводили I-131 в дозе от 110 до 360 мБк в один или два приема. При определении дозы учитывались объем щитовидной железы и результаты теста поглощения йода.

Дозу 110 мБк получили 19 (18,0 %) больных, дозу от 170 до 240 мБк – 80 (75,4 %); 7 (6,6 %) больным было введено 220, 270, 320, 360, мБк в 2 приема.

Как видно на рис. 1, у 82 % больных доза введенного I-131 соответствовала допустимым терапевтическим дозам, а у 18,0 % больных она была низкой.

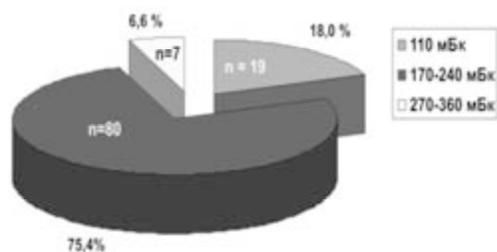


Рис. 1. Распределение больных с синдромом тиреотоксикоза по введенной дозе I-131 (n – количество больных)

У большинства больных эффективность вводимой дозы препарата мы оценивали косвенно. Большинству больных после РИТ на 2–3 месяца назначали прием тиреостатических препаратов в поддерживающей дозе, после их отмены контролировались уровни св. Т 4, ТТГ через 3 и 6 месяцев. Эта группа больных всегда наблюдалась эндокринологом по месту жительства или в Республиканской поликлинике. При возврате

клинических и лабораторных признаков тиреотоксикоза больные вновь поступали в эндокринологическое отделение РБ для дополнительного введения радиофармпрепарата. Если через 6–12 месяцев у больных не было рецидива тиреотоксикоза и не было необходимости дополнительно вводить I-131, результаты лечения оценивались как успешные. Стойкий эутиреоз и гипотиреоз расценивались как эффективная терапия.

У 96 больных (90,6 %) возврата симптомов тиреотоксикоза не наблюдалось. Эффективной оказалась первично выбранная доза I-131. У 10 больных (9,4 %) наблюдался рецидив тиреотоксикоза, что потребовало дополнительного введения радиоактивного йода. Из них 7 больным I-131 был доведен. Причинами рецидива тиреотоксикоза были явно недостаточная первоначальная доза изотопа (110 мБк) при низком проценте его поглощения (42–45 %) или низкая доза йода в расчете на 1 мл объема щитовидной железы.

Радиойодтерапию больные перенесли хорошо. Ни в одном случае не было выявлено нежелательных побочных эффектов. Ни у одного больного не отмечено клинических признаков пострадиационного тиреоидита (жалоб, болезненности щитовидной железы, болей при глотании и повороте шеи). У 15 больных исследованы острофазовые показатели и СОЭ. Отклонений от нормальных величин не было.

В настоящее время критерием эффективности терапии больных с заболеваниями щитовидной железы, протекающих с синдромом тиреотоксикоза, принято считать достижение гипотиреоза после радикальной терапии. Развитие гипотиреоза исключает возможность рецидива заболевания. Однако многими эндокринологическими школами стойкий эутиреоз рассматривается также как вариант успешной терапии.

Функция щитовидной железы по уровню ТТГ оценивалась у 27 больных через 6–12 месяцев после радиойодтерапии. Гипотиреоз диагностирован у 20 больных (ТТГ от 6 до 75 мкЕд/мл); у 7 из них – субклинический, у 13 – манифестный. У 7 человек функция щитовидной железы соответствовала норме (ТТГ от 2,5 до 4 мкЕд/мл). Показатели уровня ТТГ указаны на рис. 2.

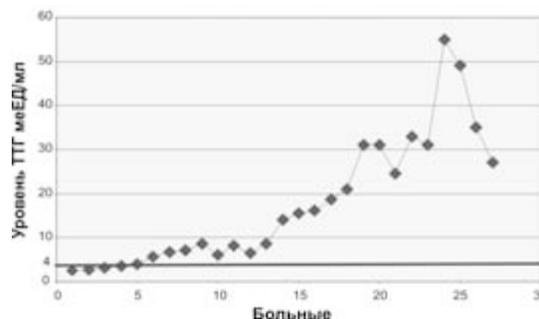


Рис. 2. Показатели ТТГ больных с синдромом тиреотоксикоза через 6–12 месяцев после радиойодтерапии

Анализ результатов УЗИ щитовидной железы у этих же больных показал уменьшение объема щитовидной железы после РИТ в среднем на 54,6 %. Изменение в динамике объема щитовидной железы у исследованных больных представлено на рис. 3.

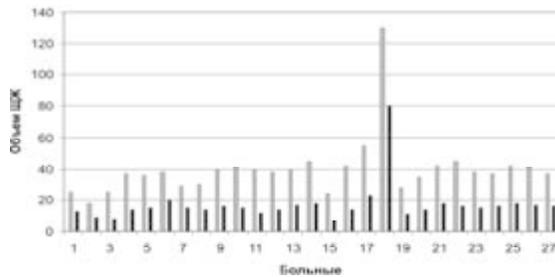


Рис. 3. Изменение объема щитовидной железы после РИТ:

■ – до лечения; ■ – после лечения.

## ВЫВОДЫ

1. Радиойодтерапия эффективна у 100 % больных с заболеваниями щитовидной железы, протекающих с тиреотоксикозом, при однократном или дробном введении 110–340 мБк.

Через 6–12 месяцев после введения радиоактивного йода эутиреоз констатирован у 26 %, гипотиреоз – у 74 % обследованных.

2. Невысокие разовые дозы радиофармпрепарата – от 110 до 240 мБк (ниже расчетной) оказались достаточными у 91,6 % обследованных после однократного введения препарата, что свидетельствует о целесообразности титрования дозы у ряда больных.
3. РИТ – безопасный метод лечения, он легко переносится больными. Ни в одном случае не наблюдалось побочных действий и осложнений, в том числе и пострадиационного тиреоидита.
4. Уменьшение объема зоба через полгода-год после РИТ на 54,4 % позволяет использовать радиойодтерапию как альтернативу стумэктомии для больных с большими зобами и тяжелой сопутствующей патологией.

Большая частота рецидивов после длительной терапии тиреостатическими препаратами и струмэктомии (61,4 % обследованных – больные с рецидивирующим течением тиреотоксикоза от 3 до 10 лет) требует более жесткого отбора больных для консервативной терапии и более раннего решения о необходимости проведения радиойодтерапии в этой группе больных.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов Г. А., Мельниченко Г. А., Петунина Н. А., Федак И. Р. Современные представления о лечении тиреотоксикоза радиоактивным йодом. Комментарии к рекомендациям европейских экспертов // Проблемы эндокринологии. 1997. № 1. С. 28–31.
2. Древаль А. В., Цыб А. Ф., Нечаева О. А., Комердус И. В. и др. Эффективность лечения диффузного токсического зоба в зависимости от расчетной терапевтической активности радиоактивного йода // Проблемы эндокринологии. 2007. Т. 53. № 2. С. 45–48.
3. Древаль А. В., Цыб А. Ф., Нечаева О. А., Комердус И. В. и др. Влияние лечения радиоактивным йодом на течение эндокринной офтальмопатии // Клиническая и экспериментальная тиреоидология. 2007. Т. 3. № 3. С. 33–40.
4. Стронгин Л. Г., Шестакова Г. В., Будкина М. Л., Сидорова Н. А. и др. Эффективность  $^{131}\text{I}$  в лечении болезни Грейвса (предварительный анализ собственного опыта) // Клиническая и экспериментальная тиреоидология. 2006. Т. 2. № 3. С. 56–58.
5. Фадеев В. В., Дроздовский Б. Я., Гусева Т. Н. и др. Отдаленные результаты лечения токсического зоба радиоактивным  $^{131}\text{I}$  // Проблемы эндокринологии. 2005. № 1. С. 3–10.

УДК 616-002.77

**ИРИНА МИХАЙЛОВНА МАРУСЕНКО**

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

### **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЛЕФЛУНОМИДА ПРИ РЕВМАТОИДНОМ АРТРИТЕ**

Статья посвящена проблеме базисной противовоспалительной терапии ревматоидного артрита, в частности новому препарату – лефлуномиду. Ревматоидный артрит – наиболее часто встречающееся и значимое воспалительное заболевание суставов, прогрессирование которого приводит к инвалидизации больных. Внедрение лефлуномида в клиническую практику дает ревматологам новые возможности в сдерживании активности ревматоидного артрита и замедлении его прогрессирования. Лефлуномид стал новым базисным средством, эффективность которого сопоставима с «золотым стандартом» – метотрексатом. В статье представлены собственные данные о применении лефлуномида в лечении ревматоидного артрита.

Ключевые слова: базисные противовоспалительные препараты, лефлуномид, метотрексат, ревматоидный артрит

Ревматоидный артрит (РА) – наиболее частое воспалительное заболевание суставов, распространенность которого в популяции составляет около 1 %. В настоящее время РА является центральной проблемой современной ревматологии в силу его высокой социальной значимости. РА снижает продолжительность жизни больных в среднем на 10 лет, а экономические потери от этого заболевания для общества сопоставимы с ишемической болезнью сердца. Кроме того, тяжесть РА подтверждает статистика инвалидизации пациентов. Около 90 % больных становятся нетрудоспособными в течение 20 лет после постановки диагноза, а 25 % теряют трудоспособность уже в течение 6 лет от начала заболевания [26].

Цели терапии РА – это достижение клинической ремиссии, замедление темпов прогрессирования эрозивного артрита, сохранение максимально долго приемлемого качества жизни, а также функционального статуса больного. Пер-

вые годы болезни являются решающими в развитии и прогрессировании патологического процесса, поэтому одной из важнейших проблем лечения РА остается раннее назначение адекватных режимов болезнь-модифицирующих или базисных противовоспалительных препаратов (БПВП). Классические БПВП принадлежат к различным классам химических соединений, обладают медленным и постепенно развивающимся лечебным эффектом, подавляя клинические, биохимические и иммунологические проявления ревматоидного процесса. Раннее использование БПВП приводит к замедлению деструкции суставов, подтвержденной рентгенологически, и улучшению отдаленного прогноза заболевания [13], [15].

Золотым стандартом фармакотерапии РА в настоящее время является метотрексат, благодаря доказанной эффективности, антидеструктивной активности, способности снижать сердечно-сосудистую летальность у пациентов с РА и наиболее

благоприятному соотношению эффективность/токсичность [4], [10], [22]. К числу других эффективных БПВП относится лефлуномид – цитостатический агент с противовоспалительной и иммуномодулирующей активностью, созданный специально для лечения РА. По механизму действия данный препарат близок к другим антимагметалоболитам, таким как метотрексат и азатиоприн, и влияет на синтез уридинмонофосфата. Лефлуномид является производным изоксазола и представляет собой препарат-предшественник, который приобретает лечебные свойства уже в организме после превращения в активный метаболит А771726. Активный метаболит лефлуномида в терапевтических концентрациях подавляет активность фермента дигидрооротатдегидрогеназы, что приводит к торможению пролиферации Т-лимфоцитов на более ранней фазе, в отличие от других цитостатических препаратов. Лефлуномид блокирует самый ранний этап активации Th1 клеток, которые имеют фундаментальное значение в патогенезе РА. Одновременно происходит уменьшение пролиферации В-лимфоцитов и снижение выработки антител. Собственно противовоспалительное действие лефлуномида обусловлено его способностью подавлять активность ЦОГ-2 и хемотаксис нейтрофилов. Важным механизмом действия лефлуномида является способность подавлять экспрессию матричной металлопротеиназы 1, которая активно участвует в деструкции костной ткани при РА [3], [5], [6], [7], [11], [17].

Лефлуномид назначается по стандартной схеме: 100 мг/сут. в первые 3 дня, затем 20 мг/сут. Использование насыщающей дозы препарата (100 мг) связано с особенностями фармакокинетики. Длительный период полувыведения А771726 (2 недели) позволяет быстрее достичь стабильной концентрации при использовании в первые 3 дня лечения насыщающей дозы лефлуномида 100 мг/сут. [2], [8], [18], [25].

Результаты клинических исследований лефлуномида позволяют считать его одним из наиболее перспективных БПВП. Он обеспечивает не только существенное уменьшение воспалительных изменений и улучшение функции суставов, но и в значительной мере задерживает нарастание деструктивных изменений [1], [11], [12], [14], [20], [23], [24]. Преимуществом препарата является быстрота развития противовоспалительного эффекта – 1–2 месяца. Кроме того, имеются данные о превосходстве лефлуномида над метотрексатом в замедлении прогрессирования РА в течение первого года [1], [6], [7], [9], [16], [19], [20].

Нами обобщен собственный опыт использования лефлуномида у больных ревматоидным артритом.

#### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследование включено 24 пациента, которым в качестве БПВП назначался лефлуномид по стандартной схеме. Всем больным проводилась оценка суставного синдрома, степени общей ак-

тивности РА и стадии патологического процесса. Для оценки суставного синдрома использовались: суставной индекс Ричи (СИ), счет болезненных суставов (СБС), счет припухших суставов (СПС), оценка боли и общей активности болезни с использованием визуальной аналоговой шкалы (ВАШ), утренняя скованность в минутах (УС).

Оценка общей активности заболевания проводилась по индексу Disease Activity Score – DAS4, так как данный комбинированный показатель достаточно точно определяет активность заболевания и позволяет судить об эффективности используемой терапии РА [21]. Значение индекса  $DAS4 \leq 2,4$  соответствует I степени активности, 2,4–3,7 – II степени и  $> 3,7$  – III степени. Исследуемым больным проводилось рентгенографическое исследование суставов в двух проекциях для определения стадии поражения по Штейнбрюкеры. В динамике через 6 и 12 месяцев оценивалось прогрессирование патологического процесса с использованием счета эрозий в суставах кистей и стоп в баллах (методика Sharp в модификации van der Heijde). Эффективность проводимой терапии оценивалась по критериям EULAR на основании динамики индекса DAS4 и с использованием критериев ответа на терапию ACR20/ACR50/ACR70.

Результаты исследования обрабатывались с помощью IBM-совместимого компьютера с процессором Pentium с использованием пакета статистических программ. Определялись средние величины  $[M \pm m]$  и достоверность средних величин по критерию Стьюдента (t).

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследовано 24 пациента с достоверным РА в возрасте от 22 до 76 лет, из них 21 женщина (87,5 %) и 3 мужчины (12,5 %). Средний возраст больных – 41,4 года. Длительность РА составила от 3 месяцев до 12 лет. Серопозитивный вариант РА выявлен у 18 больных (75 %), серонегативный – у 6 (25 %). I рентгенологическая стадия заболевания определялась у 4 (16,7 %) больных, II стадия – у 13 (54,1%), III стадия – у 3 (12,5 %) и IV – у 4 (16,7 %) пациентов. На момент назначения лефлуномида среди исследуемых пациентов I степени общей активности (минимальной) не отмечалось. II степень активности (умеренная) была у 9 (37,5 %) больных и III степень – у 15 (62,5 %).

Исходные параметры суставного синдрома были следующими: суставной индекс Ричи –  $12,63 \pm 6,25$ , счет болезненных суставов –  $12,5 \pm 5,27$ , счет припухших суставов –  $8,54 \pm 6,57$ , длительность утренней скованности –  $165,83 \pm 138,6$  мин, общее состояние здоровья по ВАШ –  $41,96 \pm 16,1$  мм, выраженность боли по ВАШ –  $65,87 \pm 17,57$  мм; наиболее значимые лабораторные параметры: СОЭ –  $35,37 \pm 15,94$  мм/ч, СРБ –  $78,9 \pm 43,91$  мг/л. Терапия лефлуномидом в большинстве случаев позволила достичь быстрого клинического эффекта. Большинство параметров суставного синдрома улучшились к 3 месяцам наблю-

дения, хотя достоверной динамики индекса активности DAS4 не было. Наиболее значимое улучшение отмечено для суставного индекса Ричи, числа болезненных суставов и выраженности боли по ВАШ. Динамика основных исследуемых параметров представлена в табл. 1.

**Таблица 1**  
Динамика основных клинических и лабораторных показателей на фоне базисной терапии лефлуномидом

Показатели	исходно	через 3 месяца	p	через 6 месяцев	p	через 1 год	p
СИ	12,63 ± 6,25	7,5 ± 4,2	0,0086	6,42 ± 4,8	0,0012	5,4 ± 3,8	0,0069
СБС	12,5 ± 5,27	6,1 ± 5,84	0,0031	6,92 ± 4,98	0,001	4,6 ± 4,3	0,0073
СПС	8,54 ± 6,57	3,31 ± 2,5	0,025	3,5 ± 2,94	0,0023	3,5 ± 2,94	0,0067
УС (мин)	165,83 ± 138,6	132,4 ± 60,9	0,0067	67,5 ± 56,4	0,0047	96,1 ± 32,8	0,0034
ОСЗ по ВАШ (мм)	41,96 ± 16,1	26,6 ± 18,3	0,0057	20,6 ± 18,33	0,012	17,2 ± 12,1	0,0012
Боль по ВАШ (мм)	65,87 ± 17,57	24,63 ± 15,18	0,0019	24,68 ± 5,83	0,0016	26,2 ± 8,7	0,006
СОЭ, мм/ч	35,37 ± 15,9	25,38 ± 14,6	0,049	27,08 ± 13,31	0,0011	24,2 ± 14,9	0,008
СРБ, мг/л	78,9 ± 43,91	47,8 ± 28,1	0,0079	53,46 ± 25,15	0,008	34,6 ± 23,2	0,004
DAS4	3,99 ± 0,93	2,82 ± 0,98	0,053	2,75 ± 0,94	0,0026	1,95 ± 0,67	0,0035

В ходе исследования нами отмечена хорошая переносимость лефлуномида в сравнении с другими базисными средствами, в первую очередь – с метотрексатом. Наиболее часто у пациентов, получающих метотрексат, выявляется гастроэнтерологическая токсичность, что часто требует перевода с пероральной на парентеральную форму препарата или снижения дозы. В случае с лефлуномидом мы отметили лишь один эпизод диспепсических явлений в виде вздутия живота и метеоризма у молодой больной, не потребовавший отмены препарата. Однако для лефлуномида характерен побочный эффект в виде выпадения волос, отмечаемый исследователями с момента появления данного лекарственного средства в клинической практике. Среди наших пациентов также в 5 случаях отмечались периоды усиленного выпадения волос в первые месяцы терапии, но без алопеции, и отмены препарата не потребовалось.

При оценке эффективности терапии лефлуномидом по критериям EULAR и ACR в качестве сравнения использованы результаты лечения метотрексатом в сходной группе больных. В группу сравнения включены 29 больных, получавших метотрексат в дозах 10–20 мг в неделю в зависи-

мости от степени активности заболевания и стойкости суставного синдрома. Данная группа представлена 21 женщиной (72,4 %) и 8 мужчинами (27,6 %), средний возраст пациентов – 44,8 года.

При оценке основных клинических и лабораторных параметров в группе сравнения также отмечена достоверная положительная динамика в контрольных точках. Исходные показатели составили: СИ – 18,64 ± 5,38, УС – 185,46 ± 112,46, СБС – 12,36 ± 6,16, СПС – 10,66 ± 5,82, СОЭ – 32,64 ± 17,3 мм/ч, СРБ – 82,96 ± 47,12 г/л, а через 6 месяцев: СИ – 6,62 ± 4,28, УС – 82,74 ± 56,2, СБС – 6,28 ± 4,6, СПС – 3,72 ± 1,84, СОЭ – 21,52 ± 14,48 мм/ч, СРБ – 37,62 ± 18,72 г/л.

Проведенная сравнительная оценка эффективности двух вариантов базисной терапии позволила выявить лучшие ближайшие результаты терапии лефлуномидом: уже через 1 месяц лечения удалось достичь хорошего эффекта по критериям EULAR у 12,5 % больных и удовлетворительного – у 28 %; по критериям ACR через 1 месяц 50 % улучшения достигли 51 % пациентов, а 20 % улучшения – 22 %. Только у 1 больной не получено достаточного эффекта от терапии лефлуномидом, в связи с чем пациентка была переведена на комбинированную базисную терапию лефлуномидом и метотрексатом. Сравнительная эффективность лефлуномида и метотрексата отображена на рис. 1 и 2.

Дополнительно оценивались темпы прогрессирования ревматоидного артрита с использованием счета эрозий на рентгенограммах кистей и стоп каждые полгода, при этом пациенты с IV стадией исключались из анализа. Среди больных, получавших лефлуномид, отмечено достоверное замедление прироста количества новых эрозий, тогда как метотрексат способствовал лишь замедлению темпов прироста. Сравнительная динамика счета эрозий при двух вариантах базисной терапии представлена на рис. 3.

Таким образом, проведенное клиническое исследование по оценке эффективности лефлуномида в лечении РА показало, что новый базисный препарат не уступает метотрексату по возможности достигать клинического улучшения в течении артрита. Следует отметить, что уменьшение выраженности суставного синдрома у больных РА, получающих лефлуномид, достигается даже быстрее, чем при использовании метотрексата. Уже через 1 месяц терапии мы получили хороший эффект по критериям EULAR у 12,5 % больных и 50 % улучшение по критериям ACR – у 51 %, что достоверно лучше результатов, полученных в группе метотрексата. Лефлуномид позволил также замедлить темпы прогрессирования эрозивного артрита по данным рентгенографии. К несомненным достоинствам препарата относится и хорошая переносимость. В нашем исследовании не потребовалось отменять препарат из-за побочных эффектов ни в одном случае. Полученные данные свидетельствуют о высокой эффективности и хорошей переносимости лефлуномида, что позволяет рекомендовать его к широкому применению при ревматоидном артрите.

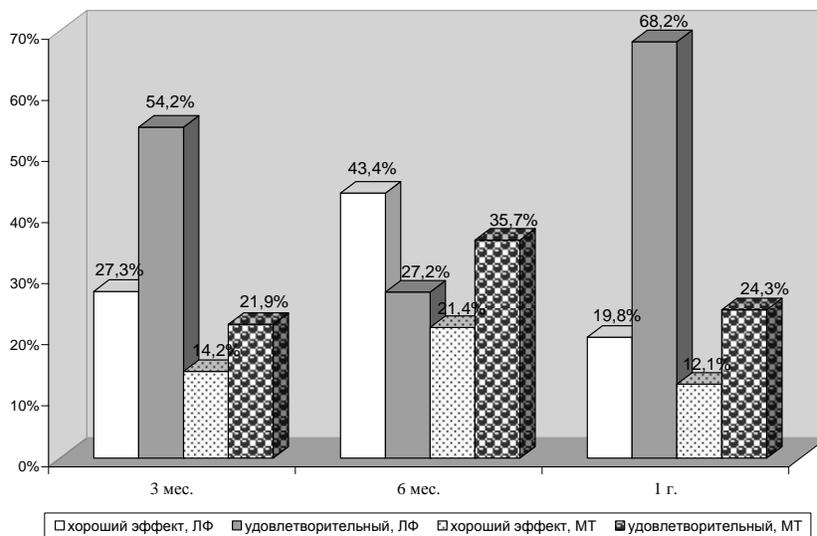


Рис. 1. Эффективность лефлуномида по критериям EULAR в сравнении с метотрексатом

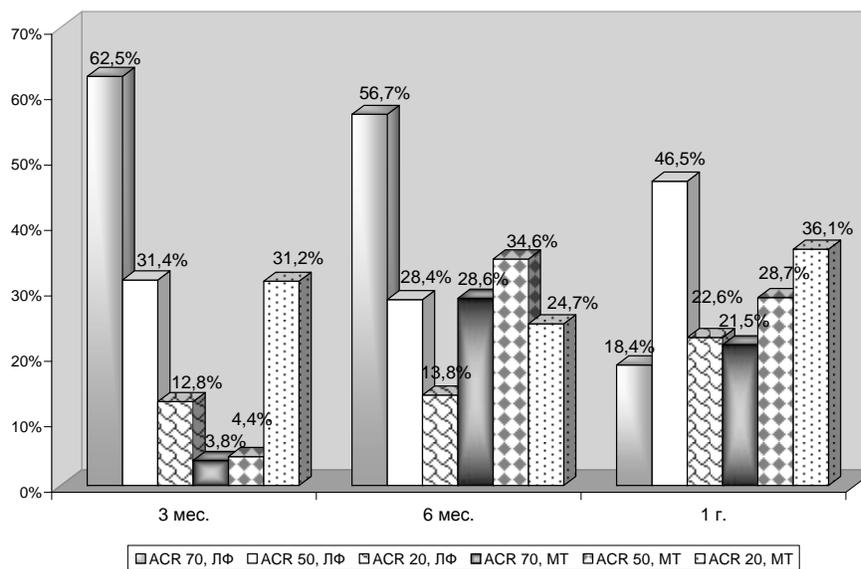


Рис. 2. Эффективность лефлуномида по критериям ACR в сравнении с метотрексатом

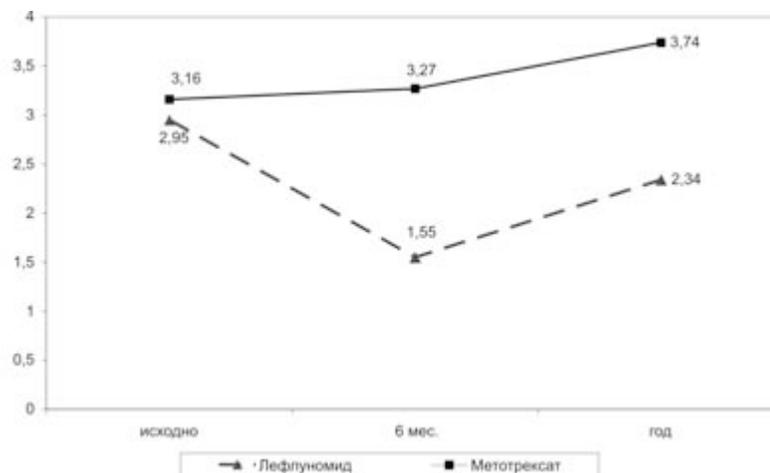


Рис. 3. Динамика счета эрозий у пациентов, получающих лефлуномид и метотрексат

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балабанова Р. М., Кашеваров Р. Ю., Олюнин Ю. А. и др. Антидеструктивное действие лефлуномида при раннем ревматоидном артрите // *Терапевтический архив*. 2006. № 6. С. 6–10.
2. Балабанова Р. М., Маколкин В. И., Шостак Н. А. и др. Динамика показателей воспалительной активности у больных ревматоидным артритом на ранних этапах базисной терапии лефлуномидом // *Терапевтический архив*. 2004. № 5. С. 28–32.
3. Насонов Е. Л., Каратеев Д. Е., Чичасова Н. В. Новые возможности применения лефлуномида при ревматоидном артрите – ранняя и комбинированная терапия // *Российский медицинский журнал*. 2005. № 24. С. 1573–1576.
4. Насонов Е. Л., Соловьев С. К. Применение метотрексата в ревматологии. М., 2000. 128 с.
5. Насонов Е. Л., Чичасова Н. В., Чижова К. А. Перспективы применения лефлуномида в ревматологии // *Российский медицинский журнал*. 2004. № 20. С. 1147–1151.
6. Олюнин Ю. А. Базисное лечение лефлуномидом при ревматоидном артрите (обзор) // *Терапевтический архив*. 2004. № 10. С. 80–84.
7. Решетняк Д. В., Насонов Е. Л. Новые направления лечения ревматоидного артрита: механизмы действия и клиническая эффективность лефлуномида // *Научно-практическая ревматология*. 2001. № 5. С. 39–45.
8. Чичасова Н. В., Бродецкая К. А., Иголкина Е. В., Имаметдинова Г. Р., Насонов Е. Л. Опыт применения лефлуномида (препарата Арава) у больных активным ревматоидным артритом // *Российский медицинский журнал*. 2005. № 13(8). С. 518–524.
9. Чичасова Н. В., Иголкина Е. В., Бродецкая К. А., Имаметдинова Г. Р. Опыт длительного лечения активного ревматоидного артрита лефлуномидом // *Терапевтический архив*. 2005. № 5. С. 33–38.
10. Alarcon G. S. Methotrexate use in rheumatoid arthritis. A clinician's perspective // *Immunopharmacology*. 2000. Vol. 47. P. 259–271.
11. Cohen S. B., Iqbal I. Leflunomide // *Int. J. Clin. Pract.* 2003. Vol. 57(2). P. 115–120.
12. Cohen S., Cannon G., Schiff M. et al. Two-year, blinded, randomized, controlled trial of treatment of active rheumatoid arthritis with leflunomide compared with methotrexate. Utilisation of leflunomide in the treatment of Rheumatoid Arthritis Investigator Group // *Arthr. Rheum.* 2001. Vol. 44. P. 1984–1992.
13. Egsmose C., Lund B., Borg G. et al. Patients with rheumatoid arthritis benefit from early 2nd line therapy: 5 year follow-up of a prospective double blind placebo controlled study // *J. Rheumatol.* 1995. Vol. 22. P. 2208–2213.
14. Emery P., Breedveld F. C., Lemmel E. M. et al. A comparison of the efficacy and safety of leflunomide and methotrexate for the treatment of rheumatoid arthritis // *Rheumatology*. 2000. Vol. 39. P. 655–665.
15. Fries J. F., Williams C. A., Morfeld D., Singh G., Sibley J. Reduction in long-term disability in patients with rheumatoid arthritis by disease-modifying antirheumatic drug-based treatment strategies // *Arthr. Rheum.* 1996. Vol. 39. P. 616–622.
16. Kremer J. M., Cannon G. W. Benefit/risk of leflunomide in rheumatoid arthritis // *Clin. Exp. Rheumatol.* 2004. Vol. 22 (Suppl. 35). P. 95–100.
17. Li E. K., Tam L. S., Tomlinson B. Leflunomide in the treatment of rheumatoid arthritis // *Clin. Ther.* 2004. Vol. 26(4). P. 447–459.
18. Maddison P., Kiely P., Kirkham B. et al. Leflunomide in rheumatoid arthritis: recommendations through a process of consensus // *Rheumatology*. № 2005. Vol. 44. P. 280–286.
19. Miceli-Richard C., Dougados M. Leflunomide for the treatment of rheumatoid arthritis // *Exp. Opin. Pharmacother.* 2003. Vol. 4(6). P. 987–997.
20. Osiri M., Shea B., Robinson V. et al. Leflunomide for the treatment of rheumatoid arthritis: a systemic review and metaanalysis // *J. Rheumatol.* 2003. Vol. 30. P. 1183–1190.
21. Pincus T., Strand V., Koch G. et al. An index of the three core data set patient questionnaire measures distinguishes efficacy of active treatment from that of placebo as effectively as the American College of Rheumatology 20 % response criteria (ACR 20) or the disease activity score (DAS) in a rheumatoid arthritis clinical trial // *Arthr. Rheum.* 2003. Vol. 48(3). P. 625–630.
22. Rau R., Herborn G. Benefit and risk of methotrexate treatment in rheumatoid arthritis // *Clin. Exp. Rheumatol.* 2004. Vol. 22 (Suppl. 35). P. 83–94.
23. Scott D. L., Smolen J. S., Kalden J. R. et al. Treatment of active rheumatoid arthritis with leflunomide, two year follow up of a double-blind, placebo controlled trial versus sulfasalazine // *Ann. Rheum. Dis.* 2001. Vol. 60. P. 913–923.
24. Smolen J. S., Emery P. Efficacy and safety of leflunomide in active rheumatoid arthritis // *Rheumatology*. 2000. Vol. 39 (Suppl. 1). P. 48–56.
25. Smolen J. S., Emery P., Kalden J. R. et al. The efficacy of leflunomide monotherapy in rheumatoid arthritis: towards the goals of disease modifying antirheumatic drug therapy // *J. Rheumatol.* 2004. Vol. 31. (Suppl. 7). P. 13020.
26. Wolfe F., Hawley D. J. The long-term outcomes of rheumatoid arthritis: work disability. A prospective 18 year study of 823 patients // *J. Rheumatol.* 1998. Vol. 25. P. 2108–2117.

УДК 616.72-002.77

**ВАДИМ АЛЕКСАНДРОВИЧ РЯБКОВ**

кандидат медицинских наук, ассистент кафедры госпитальной терапии медицинского факультета ПетрГУ  
ryabkov@onego.ru

**НАТАЛЬЯ НИКОЛАЕВНА ВЕЗИКОВА**

доктор медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой госпитальной терапии медицинского факультета ПетрГУ  
vezikov23@mail.ru

**ОЛЬГА ЮРЬЕВНА БАРЫШЕВА**

кандидат медицинских наук, доцент кафедры госпитальной терапии медицинского факультета ПетрГУ  
olvar@karelia.ru

**ТАТЬЯНА ОЛЕГОВНА ВОЛКОВА**

кандидат медицинских наук, доцент кафедры молекулярной биологии, биологической и органической химии эколого-биологического факультета ПетрГУ  
VolkovaTO@yandex.ru

**ВЛИЯНИЕ БАЗИСНОЙ ТЕРАПИИ РЕВМАТОИДНОГО АРТРИТА  
НА АКТИВНОСТЬ АПОПТОЗА ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ ЛИМФОЦИТОВ**

Изучена динамика показателей активности апоптоза периферических лимфоцитов (активность каспаз 4, 6, 8, количество 1- и 2-нитевых разрывов ДНК) на фоне терапии ревматоидного артрита базисными средствами. Снижение активности болезни сопровождалось повышением количества 1-нитевых разрывов ДНК, тенденцией к росту активности каспаз 6 и 8. Не выявлено прогностической роли исследуемых показателей в отношении эффективности базисного лечения ревматоидного артрита.

Ключевые слова: ревматоидный артрит, апоптоз, лимфоциты, каспазы, базисная терапия, метотрексат

*Целью исследования* является изучение динамики активности апоптоза периферических лимфоцитов на фоне терапии ревматоидного артрита (РА) базисными противовоспалительными препаратами (БПВП).

*Материалы и методы:* лимфоциты выделены из крови 90 больных достоверным РА. В клетках исследована активность каспаз (К) 4, 6, 8 методом флуоресценции (ФЦ) с использованием специфических субстратов К, оценено количество 1- и 2-нитевых разрывов ДНК методом ФЦ с использованием специфических ДНК-тропных красителей – 4',6-диамидино-2-фенилиндола (DAPI) и бромистого этидия (EtBr). Проанализированы изменения интенсивности апоптоза периферических лимфоцитов на фоне проводимого лечения БПВП.

*Результаты:* терапия БПВП снижает активность РА и сопровождается повышением количества 1-нитевых разрывов ДНК, активности К8 и К6. Наиболее значимая динамика характерна для пациентов с впервые диагностированным

РА. Динамика активности К4 в исследуемой группе соответствует динамике индекса DAS4. Результаты анализа не позволяют говорить о прогностической ценности показателей активности программированной клеточной гибели в отношении эффективности проводимой терапии БПВП.

**ВВЕДЕНИЕ**

Ревматоидный артрит – хроническое воспалительное заболевание, которое характеризуется преимущественным поражением суставов в виде синовиальной гиперплазии с местной инфильтрацией различными клетками воспаления, что ведет к необратимой деструкции хряща, костной ткани и нередко сочетается с системным воспалительным поражением внутренних органов [6], [13], [17], [23], [36].

РА является самой частой аутоиммунной патологией человека и одним из наиболее распространенных воспалительных заболеваний сустава

вов. РА поражает до 0,5–1,0 % населения, отличается неблагоприятным прогрессирующим течением – через 10–15 лет от начала болезни трудоспособность теряют примерно 90 % пациентов [11], [15], [17].

Этиология РА достоверно неизвестна. Сложность и многофакторность патогенеза заболевания побуждают к поиску новых методов исследования, позволяющих оптимизировать проводимое лечение, которое в настоящее время у части больных не оказывает достаточного эффекта. В основе патологического процесса при РА лежит активация CD4+ Т-клеток неизвестным антигеном у генетически предрасположенных лиц с увеличением размеров клона специфически реагирующих лимфоцитов и развитием дисбаланса активности Th1 и Th2-субпопуляций [11], [13], [18], [30], [36]. В последнее время предпринимаются попытки объяснить накопление функционально активных Т-лимфоцитов с реактивностью в отношении собственных антигенов патологией программированной клеточной гибели.

Апоптоз как особая, генетически запрограммированная, форма гибели клетки является механизмом, ответственным в границах иммунной системы за элиминацию активированных лимфоцитов, выполнивших свою функцию, с целью предупреждения аутоиммунных реакций.

Механизмы апоптоза сложны и включают взаимодействие большой группы соединений, центральное место среди которых занимают особые протеазы – каспазы (К) (cytosolic aspartate-specific cysteine proteases), расщепляющие белки в местах расположения аспарагиновых оснований [4], [9], [29], [33]. По своим функциональным обязанностям и структурной гомологии К подразделяются на три группы: активаторы цитокинов (К1, К4, К5, К13), активаторы эффекторных К (К2, К8, К9, К10) и эффекторные К, или непосредственные исполнители апоптоза (К3, К6, К7) [4], [5], [19], [21]. К расположены в цитоплазме в неактивном состоянии для исключения возможности случайной гибели клетки и активируются главным образом в последовательных реакциях пути «рецепторов смерти» и митохондриального пути [5], [9], [21].

Путь «рецепторов смерти» запускается взаимодействием специфических рецепторов на поверхности клетки-мишени с их лигандами – экстрацеллюлярными «белками смерти», наиболее изученным из которых является Fas-лиганд (FasL) [2], [7], [8], [9]. Физиологически в иммунопривилегированных тканях (тестисулы и ткани глаза) FasL обеспечивает защиту от повреждения собственных клеток, вызывая апоптоз лимфоцитов [20], [22], [25].

При связывании FasL со специфическим рецептором Fas образуется DISC (death-inducing signalling complex, индуцирующий смерть сигнальный комплекс), итогом формирования которого является активация протеазы – К8 (FLICE), обеспечивающей процесс апоптоза [5], [20], [25].

К8 запускает запрограммированную клеточную гибель превращением проК3 в К3 или расщеплением белка Bid семейства Bcl-2 с индукцией митохондриального пути апоптоза [4], [21], [23], [25], [33]. К3 активирует прочие эффекторные К (К6, К7), вместе с которыми осуществляет расщепление структурных белков, фрагментацию и нарушение репарации ДНК [3], [4], [19].

Митохондриальный путь апоптоза инициируется повреждением ДНК или воздействием цитотоксических агентов [21]. Распознавание свободных концов ДНК сопровождается активацией гена p53, кодирующего образование ядерного протеина, который способен в случае большого количества повреждений запускать программу гибели клетки [3], [4], [7], [8], [33]. Помимо стимуляции экспрессии Fas и К6 через p53 отмечена активация генов индукторов апоптоза, относящихся к белкам семейства Bcl-2 [2], [29], [35].

Семейство Bcl-2 объединяет сходные по морфологическому составу белки (более 20 соединений), разделяющиеся на две группы в зависимости от функции: индукторы апоптоза (Bim, Bad, Bid, Bax, Bak, Bok) и ингибиторы апоптоза (Bcl-2, Bcl-w, A1, Mcl-1, Bcl-x<sub>L</sub>) [2], [3], [4], [21]. Индукторы клеточной гибели семейства Bcl-2 (Bax, Bak и др.) способствуют выделению из митохондрий цитохрома с, который, взаимодействуя с Araf-1 (apoptotic protease activating factor-1, апоптотический протеаза-активирующий фактор-1) и проК9, формирует комплекс, называемый апоптосомой. В апоптосоме проК9 превращается в К9, активирующую эффекторные К3, К6, К7 [5], [8], [19], [21], [25], [32]. Антиапоптотические белки семейства Bcl-2 связываются с белком Araf-1 во время формирования апоптосомы, что предотвращает активацию каспазного каскада [2], [29]. Bcl-2 способен ингибировать высвобождение цитохрома с из митохондрий [7], [29].

Помимо соединений, индуцирующих апоптоз, в клетках существуют механизмы негативной регуляции этого процесса – эндогенные ингибиторы К (белки семейства IAP (inhibitor of apoptosis, ингибитор апоптоза)) [1], [2], [3], [19], [25] и структурные гомологи проксимальных К8 и К10 [19], [29], [33], [34].

К прочим митохондриальным факторам апоптоза, расположенным в межмембранном пространстве, относят фактор, индуцирующий апоптоз (AIF, apoptosis-inducing factor), который активирует нуклеазу, расщепляющую ядерную ДНК с конденсацией хроматина, запуская каспазозависимую гибель клетки [4], [21], [29], [32], [33].

Исходя из предполагаемой роли апоптоза в патогенезе РА, в настоящее время активно изучается влияние базисных противовоспалительных препаратов (БПВП) на запрограммированную клеточную гибель с целью объяснения их патогенетического действия, предсказания эффективности использования и разработки методов преодоления резистентности, которая остается одной из основных проблем в фармакотерапии РА.

В настоящее время препаратом первого ряда в лечении больных РА является метотрексат [10], [13], [14], [15], [18]. Основным механизмом действия метотрексата считается антифолатный с ингибированием образования пуринов и тимидилата, необходимых для синтеза ДНК, что ведет к антипролиферативному эффекту [10], [14], [18], [24]. Противовоспалительная активность связана с высвобождением аденозина, который, взаимодействуя с аденозиновыми рецепторами 2-го типа, ингибирует лимфоцитарную пролиферацию, образование лейкотриена В<sub>4</sub> в нейтрофилах, продукцию фактора некроза опухоли-альфа (ФНО- $\alpha$ ), интерлейкинов [10], [14], [18], [24], [28].

Показана способность метотрексата индуцировать апоптоз различных клеток, в том числе периферических лимфоцитов [14], [24], [26], [30], [31]. Несмотря на то что ранее продемонстрировано участие Fas в индукции метотрексатом апоптоза лейкозных клеток [14], [24], в последнее время все больше данных о независимости программированной клеточной гибели от системы Fas/FasL [27], [30], [31]. Так, апоптоз активированных Т-клеток здоровых доноров *in vitro*, индуцированный метотрексатом, не нарушался при добавлении ингибиторов CD95, полностью блокирующих Fas-опосредованную гибель [27], [30]. На мышинных моделях с дефектом Fas происходящая индукция апоптоза метотрексатом предполагала независимость от стимуляции CD95 [31].

Отмечена способность аденозина вызывать апоптоз в ограниченном числе Т-клеток с уменьшением этого эффекта применением ингибитора аденозиндезаминазы [27]. Не исключено, что метотрексат активизирует программированную клеточную гибель опосредованно, влияя на метаболизм основных цитокинов при РА, выделяемых в большом количестве активированными иммунокомпетентными клетками [14], [24].

Индукция программированной клеточной гибели как возможный механизм действия описан и для сульфасалазина – еще одного БПВП, часто используемого в терапии РА. Сульфасалазин представляет собой конъюгат 5-аминосалициловой кислоты и сульфамиридина и является первым базисным препаратом, который разрабатывался для лечения РА, исходя из представлений об инфекционной природе заболевания [12]. Отсутствие влияния ингибитора К широкого спектра на индуцированный сульфасалазином апоптоз предполагает каспазозависимый механизм программированной клеточной гибели [12], [32]. Иницирующим звеном в механизме запуска апоптоза считается белок Вах, который в ответ на терапию транслоцируется в митохондрии и вызывает высвобождение проапоптогенных факторов, в том числе АИФ, с последующей фрагментацией ДНК [32]. Среди прочих механизмов влияния сульфасалазина на интенсивность апоптоза иммунокомпетентных клеток также описывается подавление экспрессии провоспалительных цитокинов (ФНО- $\alpha$ , интерлейкинов) [1].

Таким образом, нарушения апоптоза периферических лимфоцитов могут играть важную роль в развитии и хронизации иммунопатологического воспалительного процесса при РА. Активация программированной клеточной гибели при эффективной терапии БПВП способна подтвердить значение апоптоза в патогенезе заболевания, а понимание механизмов реализации действия базисных средств поможет объяснить различную чувствительность к ним пациентов.

Целью настоящего исследования явилось изучение динамики активности апоптоза периферических лимфоцитов на фоне проводимой базисной терапии, оценка возможности использования показателей активности программированной клеточной гибели для прогнозирования эффективности терапии БПВП.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследуемую группу включено 90 пациентов, из которых 63 (70 %) женщины и 27 (30 %) мужчин, в возрасте от 20 до 74 лет (средний возраст –  $49,34 \pm 11,63$  года) с РА, диагностированным на основании критериев Американской коллегии ревматологов. У 87 (96,67 %) пациентов РА диагностирован впервые или в предшествующие исследованию 36 месяцев.

У всех больных РА проводилась клиническая оценка общего суставного синдрома (суставной индекс Ричи (СИР), число болезненных суставов (ЧБС), число припухших суставов (ЧПС), утренняя скованность (УС), оценка состояния здоровья и боли пациентом по визуальной аналоговой шкале (ВАШ)) и функционального статуса по вопроснику HAQ. Для определения стадии РА всем больным проводилась рентгенография клинически наиболее пораженных суставов. Общая активность РА оценивалась по индексу DAS4. Клиническая характеристика исследуемой группы представлена в табл. 1.

Пациентам выполнялось исследование гемограммы, определялся уровень общего белка и белковых фракций, фибриногена, С-реактивного белка с помощью высокочувствительного теста (hsCRP), ревматоидного фактора (РФ), циркулирующих иммунных комплексов (ЦИК).

Оценка апоптоза циркулирующих лимфоцитов проводилась в лаборатории кафедры молекулярной биологии, органической и неорганической химии ГОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет» по активности К4, К6 и К8 через 30, 60, 120, 150 и 180 минут после начала реакции флуоресценции (ФЦ) с использованием специфических субстратов К (для К4 (активатор цитокинов) – WEND (Trp = Glu = His = Asp), для К8 (активатор эффекторных К) – LETD (Leu = Glu = Thr = Asp), для К6 (эффекторная К) – VEID (Val = Glu = Ile = Asp)) и по выявлению количества 2-нитевых и 1-нитевых разрывов ДНК методом ФЦ ДНК-тропных красителей – бромистого этидия (EtBr) (специфичен

для выявления 2-нитевых разрывов ДНК) и 4',6-диамидино-2-фенилиндола (DAPI) (специфичен для выявления 1-нитевых разрывов ДНК).

Таблица 1

Клиническая характеристика исследуемой группы		
Характеристика заболевания	Число пациентов	% больных
Серопозитивный вариант	59	65,56
Серонегативный вариант	31	34,44
Системные проявления	57	63,33
Рентгенологическая стадия		
Нет изменений	8	8,89
I	5	5,56
II	59	65,55
III	15	16,67
IV	3	3,33
Степень активности		
I	23	25,56
II	45	50,00
III	22	24,44
Функциональная недостаточность		
0	13	14,44
I	42	46,67
II	34	37,78
III	1	1,11

Все больные РА были разделены на 3 группы в зависимости от длительности заболевания и особенностей проводимого лечения. Группу впервые диагностированного РА (ВДРА) составили 25 (27,78 %) пациентов, которые были включены в исследование сразу после установления диагноза. Больные этой группы имели начальные клинические проявления заболевания длительностью менее 6 месяцев и никогда ранее не получали БПВП.

Группу пациентов с установленным ранее РА, не принимающих базисные препараты (БНБП) по разным причинам более 3 месяцев перед первичным осмотром, составили 26 (28,89 %) больных.

В группу пациентов с ранее диагностированным РА, получающих постоянную базисную терапию (БПБТ) на протяжении 3 и более месяцев перед исследованием, включено 39 (43,33 %) больных – в качестве базисного средства использовался главным образом метотрексат в дозе 7,5–20 мг/нед. (в среднем  $11,82 \pm 3,47$  мг/нед.).

Группы были сопоставимы по полу, возрасту, показателям суставного синдрома, активности (DAS4), количеству серопозитивных пациентов. Для больных с установленным ранее РА отсутствовали различия по стадиям и длительности болезни. Общая характеристика групп представлена в табл. 2, клиническая характеристика – в табл. 3.

Рекомендованная после первичного обследования базисная терапия включала преимущественно метотрексат в дозе 7,5–20 мг/нед. (в среднем  $11,13 \pm 3,24$  мг/нед.) – у 75 (83,33 %) пациентов, а также сульфасалазин в дозе 2 г/сут. – у 11 (12,22 %) больных.

Таблица 2

Общая характеристика групп пациентов						
Характеристика группы	ВДРА (n = 25)		БНБП (n = 26)		БПБТ (n = 39)	
	Возраст, годы	50,96 ± 11,51		46,58 ± 14,21		50,15 ± 9,62
Длительность РА, мес.			20,77 ± 13,11		19,05 ± 10,73	
	кол-во	%	кол-во	%	кол-во	%
Женщины	18	72,00	17	65,38	28	71,79
Мужчины	7	28,00	9	34,62	11	28,21

Таблица 3

Клиническая характеристика групп пациентов						
Характеристика группы	ВДРА (n = 25)		БНБП (n = 26)		БПБТ (n = 39)	
	кол-во	%	кол-во	%	кол-во	%
Серопозитивный вариант	16	64,00	18	69,23	25	64,10
Серонегативный вариант	9	36,00	8	30,77	14	35,90
Рентгенологическая стадия						
Нет изменений	7	28,00	0	0,00	1	2,56
I	1	4,00	2	7,69	2	5,13
II	14	56,00	17	65,38	28	71,80
III	3	12,00	6	23,08	6	15,38
IV	0	0,00	1	3,85	2	5,13
Степень активности						
I	3	12,00	7	26,92	13	33,33
II	17	68,00	12	46,16	16	41,03
III	5	20,00	7	26,92	10	25,64
Функциональная недостаточность						
0	1	4,00	4	15,38	8	20,51
I	14	56,00	14	53,85	14	35,90
II	10	40,00	8	30,77	16	41,03
III	0	0,00	0	0,00	1	2,56

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием Microsoft Office Excel 2003 и пакета статистических программ Statistica 6.0. Результаты представлены в виде средних величин и стандартных отклонений ( $M \pm s$ , где  $M$  – среднее арифметическое,  $s$  – стандартное отклонение), а также медианы и интерквартильного размаха ( $A (L-N)$ , где  $A$  – медиана,  $L$  – нижний квартиль,  $N$  – верхний квартиль). Статистический анализ проводился непараметрическими методами – сравнение 2 независимых групп методом Манна – Уитни, анализ корреляции методом Спирмена.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В исследуемой группе на фоне терапии БПВП в течение года отмечено достоверное снижение индекса DAS4 и улучшение функционального статуса при повышении количества 1-нитевых разрывов ДНК. Результаты отражены на рис. 1.

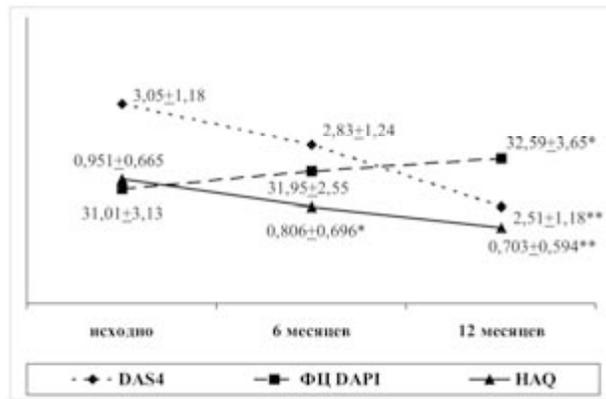


Рис. 1. Динамика индекса DAS4, НАQ и количества 1-нитевых разрывов ДНК в исследуемой группе на фоне терапии БПВП в течение 1 года

Достоверность различий при сравнении с исходными показателями отмечена \* при  $p < 0,05$ , \*\* при  $p < 0,01$ .

Более интенсивная программированная клеточная гибель лимфоцитов может быть опосредована тенденцией к повышению активности К8 и К6 в течение 12 месяцев наблюдения ( $p > 0,05$ ). Отмеченное снижение активности К4, участвующей в реализации провоспалительных процессов, на 180-й минуте от начала реакции ФЦ к 12 месяцам является достаточно закономерным с учетом снижения индекса DAS4.

При сравнительной оценке исходной активности апоптоза в группах ВДРА, БНБП и БПБТ с сопоставимыми показателями DAS4 количество разрывов ДНК достоверно не различалось. В группе ВДРА на фоне снижения DAS4 ( $p < 0,01$ ) в течение года отмечена тенденция к увеличению количества 1-нитевых разрывов ДНК при достоверно более активных в динамике К6 и К8. Сохранялось закономерное снижение уровня К4, представленное на рис. 2.

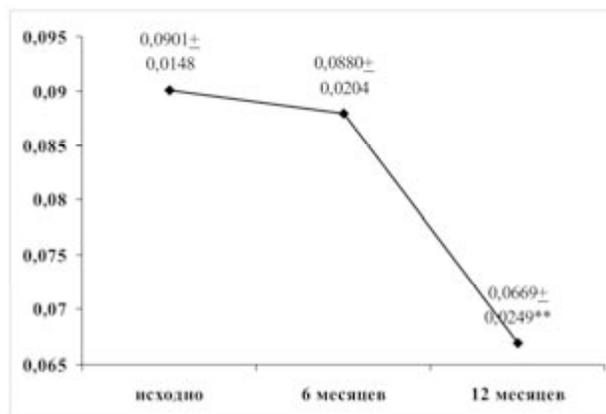


Рис. 2. Активность К4 в группе ВДРА на фоне терапии БПВП в течение 1 года

Достоверность различий при сравнении с исходными показателями отмечена \* при  $p < 0,05$ , \*\* при  $p < 0,01$ .

В группе БНБП возобновленная или начатая базисная терапия также позволила достоверно снизить активность РА и улучшить функциональный статус пациентов в течение года ( $p < 0,05$ ). Тенденция к увеличению количества 1-нитевых разрывов ДНК была статистически незначимой ( $p > 0,05$ ), как и повышение активности К6, К8.

В группе БПБТ не продемонстрировано существенного изменения индекса DAS4 и показателей НАQ. Отмечена наименьшая динамика активности программированной клеточной гибели среди всех 3 групп при повышении активности К6 и К8, что может указывать на нарушения реализации апоптоза. Учитывая, что основную часть обследованных в группе БПБТ составляли пациенты стационара, можно предположить исходно недостаточный эффект рекомендованных базисных средств или развитие резистентности к ним, послужившие причиной очередной госпитализации.

При сравнении показателей активности апоптоза к 12 месяцам наблюдения в группах ВДРА, БНБП, БПБТ не отмечено достоверных различий по количеству разрывов ДНК.

Для оценки динамики активности апоптоза в зависимости от эффективности проводимой терапии больные с удовлетворительным или хорошим эффектом по критериям Европейской противоревматической лиги (EULAR), а также 20 %, 50 % и 70 % улучшением по критериям Американской коллегии ревматологов (ACR) составили группу «ответчиков». Пациенты, у которых была констатирована неэффективность лечения базисными средствами, вошли в группу «неответчиков».

Через 6 месяцев «ответчики» продемонстрировали тенденцию к снижению активности К4 и росту количества 1-нитевых разрывов ДНК ( $p > 0,05$ ). В группе «неответчиков» к 6 месяцам при достоверном повышении DAS4 отмечено снижение уровня 2-нитевых разрывов ДНК ( $p < 0,05$ ). Через 1 год наблюдения обращает внимание обратное изменение количества 1-нитевых разрывов ДНК и активности К4 ( $p < 0,05$ ) у «неответчиков» на фоне более низких показателей DAS4. Не исключается, что определяемые изменения активности апоптоза реализуются улучшением клинической картины и лабораторных показателей только спустя некоторое время.

Для определения прогностической ценности результатов исследования апоптоза было проведено попарное сравнение исходных данных по активности К и количеству разрывов ДНК в группах «неответчиков» и «ответчиков» – достоверных различий выявлено не было.

При оценке влияния метотрексата на активность РА и интенсивность программированной клеточной гибели проведен анализ эффективности лечения у 23 пациентов групп ВДРА и БНБП, начавших терапию препаратом с момента включения в исследование и продолжавших ее в течение всего времени наблюдения без перерывов и смены базисного средства. Средняя реко-

мендованная доза препарата при выписке из стационара исходно составила  $9,46 \pm 1,84$  мг/нед., а к 12 месяцам –  $11,67 \pm 3,36$  мг/нед. Динамика основных клинико-лабораторных данных представлена в табл. 4.

На фоне снижения индекса DAS4 и улучшения функционального статуса к 12 месяцам отмечена тенденция к повышению количества 1-нитевых разрывов ДНК, активности К6, К8 ( $p > 0,05$ ), достоверное снижение активности К4 ( $p < 0,01$ ).

Таблица 4

Динамика клинико-лабораторных показателей на фоне терапии метотрексатом в течение 1 года

Показатели	Исходно	Время от начала терапии метотрексатом	
		6 месяцев	12 месяцев
DAS4	$3,46 \pm 0,91$	$2,77 \pm 1,08$	$2,32 \pm 1,10^{**}$
HAQ	$1,266 \pm 0,686$	$0,862 \pm 0,659^*$	$0,725 \pm 0,693^*$
ЧБС	6,0 (4,0–16,0)	7,0 (1,0–12,0)	4,0 (1,0–12,0)
ЧПС	9,0 (3,5–13,0)	5,0 (2,0–9,0)	2,0 (0,0–5,0)*
СИР	5,0 (4,0–11,0)	5,0 (1,0–9,5)	4,0 (1,0–8,5)
ВАШ	50,0 (43,5–55,0)	43,0 (25,0–50,0)	32,0 (8,0–43,0)*
ВАШ	45,0 (39,0–50,0)	45,0 (22,5–53,5)	33,0 (8,0–42,5)*
УС, мин	90,0 (42,5–165,0)	30,0 (17,5–150,0)*	10,0 (0,0–40,0)**
hsCRP, мг/л	14,50 (3,47–35,35)	5,96 (3,73–11,20)*	3,83 (1,86–9,37)
фибриноген, г/л	5,5 (4,4–6,6)	4,7 (3,7–5,7)	4,3 (3,8–4,6)**
$\alpha 2$ -глобулин, г/л	$8,35 \pm 1,50$	$6,43 \pm 0,86^{**}$	$6,90 \pm 0,83^*$
РФ, МЕ/мл	64 (16–256)	64 (8–256)	96 (32–256)
ЦИК, ед. опт. пл.	$0,135 \pm 0,049$	$0,103 \pm 0,041^{**}$	$0,128 \pm 0,057$
СОЭ, мм/ч	30,0 (21,0–43,5)	13,0 (10,0–29,0)**	14,0 (9,5–24,0)**

Примечание. Достоверность различий по сравнению с исходными показателями отмечена в таблице \* при  $p < 0,05$ , \*\* при  $p < 0,01$  и \*\*\* при  $p < 0,001$ .

## ОБСУЖДЕНИЕ

Активное изучение особенностей программированной гибели клеток различных типов при РА обусловлено возможной ролью патологии

апоптоза в развитии и поддержании ревматоидного воспаления. Влияние на процесс апоптоза считается одним из механизмов патогенетического действия БПВП. Исследование особенностей программированной клеточной гибели на фоне терапии БПВП может уточнить причины различной чувствительности пациентов к лекарственным средствам и оценить возможность ее прогнозирования.

В ходе работы выявлено, что терапия БПВП достоверно снижает активность РА, повышает качество жизни больных и сопровождается ростом интенсивности программированной клеточной гибели периферических лимфоцитов по количеству 1-нитевых разрывов ДНК, что может быть опосредовано более активными К8 и К6. Наиболее значимая динамика показателей активности апоптоза характерна для пациентов с ВДРА и БНБП при возобновлении лечения БПВП. Наименее эффективная терапия в группе БПБТ может объясняться исходно недостаточным действием БПВП и развитием резистентности к ним. Отсутствие достоверных различий к 12 месяцам по показателям программированной клеточной гибели в группах ВДРА, БНБП и БПБТ определяется небольшим количеством пациентов.

Динамика активности К4 в исследуемой группе соответствует динамике индекса DAS4 и отражает изменения активности РА на фоне лечения БПВП, что, наиболее вероятно, связано с ролью К4 как активатора цитокинов и участника провоспалительных реакций.

Результаты анализа не позволяют говорить о прогностической ценности показателей активности программированной клеточной гибели в отношении эффективности проводимой терапии БПВП, что требует дальнейшего изучения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эффективное применение БПВП при РА сопровождается повышением активности апоптоза периферических лимфоцитов. Динамика активности К4 отражает интенсивность ревматоидного воспаления. Возможность использования показателей апоптоза периферических лимфоцитов для прогнозирования эффекта БПВП требует дальнейшего изучения.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- БНБП – больные, не получающие базисные препараты 3 месяца и более перед включением в исследование.
- БПБТ – больные, получающие базисную терапию 3 месяца и более перед включением в исследование.
- БПВП – базисные противовоспалительные препараты.
- ВДРА – впервые диагностированный ревматоидный артрит.
- К – каспаза.
- СИР – суставной индекс Ричи.
- РА – ревматоидный артрит.
- РФ – ревматоидный фактор.
- УС – утренняя скованность.
- ФНО- $\alpha$  – фактор некроза опухоли-альфа.
- ФЦ – флуоресценция.
- ЦИК – циркулирующие иммунные комплексы.

ЧБС – число болезненных суставов.  
ЧПС – число припухших суставов.  
AIF – фактор, индуцирующий апоптоз.  
Araf-1 – апоптотический протеаза-активирующий фактор-1.  
DAPI – 4',6-диамидино-2-фенилиндол.  
DISC – индуцирующий смерть сигнальный комплекс.  
EtBr – бромистый этидий.  
FasL – Fas-лиганд.  
hsCRP – высокочувствительный C-реактивный белок.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бадюкин В. В. Эффективность и переносимость сульфасалазина при ревматических заболеваниях // Научно-практич. ревматол. 2005. № 4. С. 47–52.
2. Богданов А. Н., Камилова Т. А., Цыган В. Н., Цыган Е. Н. Роль апоптоза в патогенезе ревматоидного артрита. Сообщение 1 // Научно-практич. ревматол. 2005. № 6. С. 56–62.
3. Владимирская Е. Б. Биологические основы противоопухолевой терапии. М.: Агат-Мед, 2001.
4. Владимирская Е. Б. Механизмы апоптотической смерти клеток // Гематология и трансфузиология. 2002. № 47 (2). С. 35–40.
5. Григорьев М. Ю., Имянитов Е. Н., Хансон К. П. Апоптоз в норме и патологии // Мед. академ. журн. 2003. № 3 (3). С. 3–11.
6. Коршунов Н. И. Ревматоидный артрит: диагностика и лечение // РМЖ. 2005. № 13 (14). С. 956–965.
7. Мойбенко А. А., Досенко В. Е., Нагибин В. С. Ферментативные механизмы апоптоза // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. 2005. № 3. С. 17–26.
8. Москалева Е. Ю., Северин С. Е. Возможные механизмы адаптации клетки к повреждениям, индуцирующим программированную гибель. Связь с патологией // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. 2006. № 2. С. 2–16.
9. Нагорнев В. А., Восканьянц А. Н. Апоптоз и его роль в атерогенезе // Мед. академ. журн. 2003. № 3 (4). С. 3–18.
10. Насонов Е. Л. 50 лет применения метотрексата в ревматологии // РМЖ. 2000. № 8 (9). С. 372–377.
11. Насонов Е. Л. Фактор некроза опухоли- $\alpha$  – новая мишень для противовоспалительной терапии ревматоидного артрита // РМЖ. 2000. № 8 (17). С. 718–722.
12. Насонов Е. Л. Применение сульфасалазина в ревматологии // Consilium-medicum. 2002. № 4 (8). С. 426–429.
13. Насонов Е. Л. Фармакотерапия ревматоидного артрита с позиций доказательной медицины: новые рекомендации // РМЖ. 2002. № 10 (6). С. 294–302.
14. Насонов Е. Л. Метотрексат: Перспективы применения в ревматологии. М.: Филоматис, 2005.
15. Насонов Е. Л. Фармакотерапия ревматоидного артрита – взгляд в XXI век // Клин. мед. 2005. № 6. С. 8–12.
16. Насонов Е. Л. Перспективы фармакотерапии ревматоидного артрита // Научно-практич. ревматол. 2005. № 6. С. 5–7.
17. Насонова В. А. Ревматические болезни. М.: Медицина, 1997.
18. Сигидин Я. А., Гусева Н. Г., Иванова М. М. Диффузные болезни соединительной ткани (системные ревматические заболевания): руководство для врачей. М.: Медицина, 2004.
19. Фильченков А. А. Каспазы: регуляторы апоптоза и других клеточных функций // Биохимия. 2003. № 63 (4). С. 453–466.
20. Червякова Н. В. Fas/Fas-лиганд: маркеры апоптоза // Лаборатория. 2004. № 2. С. 7–9.
21. Adams J. M. Ways of dying: multiple pathways to apoptosis // Genes Dev. 2003. № 17. P. 2481–2495.
22. Bohana-Kashtan O., Civin C. I. Fas Ligand as a tool for immunosuppression and generation of immune tolerance // Stem Cells. 2004. № 22. P. 908–924.
23. Breedveld F. C., Kalden J. R. Appropriate and effective management of rheumatoid arthritis // Ann. Rheum. Dis. 2004. № 63. P. 627–633.
24. Cutolo M., Sulli A., Pizzorni C. et al. Anti-inflammatory mechanisms of methotrexate in rheumatoid arthritis // Ann. Rheum. Dis. 2001. № 60. P. 729–735.
25. Eguchi K. Apoptosis in autoimmune disease // Intern. Med. 2001. № 40. P. 275–284.
26. Fairbanks L. D., Rückemann K., Qui Y. et al. Methotrexate inhibits the first committed step of purine biosynthesis in mitogen-stimulated human T-lymphocytes: a metabolic basis for efficacy in rheumatoid arthritis? // Biochem. J. 1999. № 342. P. 143–152.
27. Genestier L., Paillet R., Fournel S. et al. Immunosuppressive properties of methotrexate: apoptosis and clonal deletion of activated peripheral T cells // J. Clin. Invest. 1998. № 102 (2). P. 322–328.
28. Gerards A. H., de Lathouder S., de Groot E. R. et al. Inhibition of cytokine production by methotrexate. Studies in healthy volunteers and patients with rheumatoid arthritis // Rheumatology. 2003. № 42. P. 1189–1196.
29. Haunstetter A., Izumo S. Apoptosis: basic mechanisms and implications for cardiovascular disease // Circ. Res. 1998. № 82. P. 1111–1129.
30. Herman S., Zurgil N., Langevitz P. et al. The induction of apoptosis by methotrexate in activated lymphocytes as indicated by fluorescence hyperpolarization: a possible model for predicting methotrexate therapy for rheumatoid arthritis patients // Cell Struct. Funct. 2003. № 28. P. 113–122.
31. Izeradjene K., Revillard J.-P., Genestier L. Inhibition of thymidine synthesis by folate analogues induces a Fas-Fas ligand-independent deletion of superantigen-reactive peripheral T cells // Int. Immunol. 2001. № 13 (1). P. 85–93.
32. Liptay S., Fulda S., Schanbacher M. et al. Molecular mechanisms of sulfasalazine-induced T-cell apoptosis // Br. J. Pharmacol. 2002. № 137. P. 608–620.
33. Perlman H., Pagliari L. J., Volin M. V. Regulation of apoptosis and cell cycle activity in rheumatoid arthritis // Curr. Mol. Med. 2001. № 1. P. 597–608.
34. Pope R. M. Apoptosis as a therapeutic tool in rheumatoid arthritis // Nat. Rev. Immunol. 2002. № 2. P. 1–9.
35. Stahnke K., Fulda S., Friesen C. et al. Activation of apoptosis pathways in peripheral blood lymphocytes by in vivo chemotherapy // Blood. 2001. № 98. P. 3066–3078.
36. Weyand C. M. New insights into the pathogenesis of rheumatoid arthritis // Rheumatology. 2000. № 39 (suppl. 1). P. 3–8.

УДК 630\*372, 630\*375.4

**ОЛЕГ НИКОЛАЕВИЧ ГАЛАКТИОНОВ**

кандидат технических наук, доцент кафедры технологий и оборудования лесного комплекса лесоинженерного факультета ПетрГУ  
*galakt@psu.karelia.ru*

**АЛЕКСЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ КУЗНЕЦОВ**

кандидат технических наук, доцент кафедры технологий и оборудования лесного комплекса лесоинженерного факультета ПетрГУ  
*kuzalex@psu.karelia.ru*

**МАКСИМ АНАТОЛЬЕВИЧ ПИСКУНОВ**

кандидат технических наук, доцент кафедры технологий и оборудования лесного комплекса лесоинженерного факультета ПетрГУ  
*piskunov\_mp@list.ru*

**ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСТИЛА ИЗ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ  
И СОСТОЯНИЕ ГРУНТА НА ТРЕЛЕВОЧНОМ ВОЛОКЕ**

Статья подводит итог проведенным авторами исследований влияния использования отходов лесозаготовок на состояние лесных грунтов. Анализировалось влияние концентрации отходов лесозаготовок на величины напряжений и деформаций, возникающих в грунте. Установлены количественные характеристики концентрации отходов лесозаготовок, обеспечивающие необходимый уровень несущей способности грунта.

Ключевые слова: отходы лесозаготовок, использование отходов, лесные машины

**ОБЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ**

В настоящее время подавляющий объем лесозаготовок происходит при помощи лесозаготовительных машин. Следовательно, основное воздействие на древесной оказывают движители машин, контактирующие с грунтом. Этот контакт, кроме изменения сопротивления движению машин, сказывается на восстановлении древесной и его качестве.

Разработать мероприятия по снижению воздействия на грунт и оценить их эффективность можно на основе изучения процессов, происходящих в грунте в момент прохождения лесозаготовительной машины, количественной оценки их характеристик.

Конкретные направления экспериментальной деятельности по обоснованию разных путей снижения энергопотребления были рассмотрены в работе [5].

Особенности древесины и отходов лесозаготовок позволяют применять их для решения всех задач на пути использования отходов лесозаго-

товок при строительстве транспортной сети. Отходы лесозаготовок традиционно используются для повышения несущей способности волоков, позволяющей лесозаготовительной технике тратить меньше энергии на преодоление тяжелых участков волока. В процессе укрепления волоков отходы лесозаготовок собираются на них, что позволяет эффективно использовать прочностные свойства и организовать их утилизацию.

Таким образом, необходимо определить минимальный объем отходов лесозаготовок для строительства волоков и оценить объем отходов, свободный для использования.

Укрепление волоков особенно актуально при работе лесных машин в сложных условиях увлажненной местности, когда необходимо максимально сохранить подрост или провести сплошные рубки. Кроме того, использование лесосечных отходов как дорожной одежды позволяет рационально использовать биомассу дерева.

При укреплении волоков лесосечными отходами увеличивается площадь контакта между движителем и почвогрунтом за счет перераспре-

деления давления в слое отходов лесозаготовок. По экспериментальным исследованиям, после 10 проходов лесной машины по транспортному пути, укрепленному лесосечными отходами, образуется конгломерат почвогрунта с лесосечными отходами [2]. В этом случае целесообразно рассматривать волок, по которому совершает движение лесная машина, как почвогрунт, армированный лесосечными отходами.

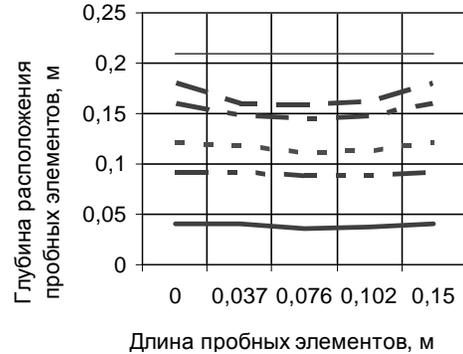
В связи с вышесказанным, необходимо провести исследования характеристик взаимодействия хворостяной подушки и почвогрунта при эксплуатации транспортных путей, на основании этих характеристик определить объем лесосечных отходов, необходимый для строительства волоков. При этом задача ставится так: определить, во сколько раз снижается воздействие лесозаготовительной машины на поверхность грунта при использовании определенного объема отходов лесозаготовок.

Методика исследования заключалась в оценке величины снижения деформации и напряжений грунта при движении лесозаготовительного агрегата по волоку с различной концентрацией отходов лесозаготовок; такая постановка задачи эксперимента позволяет отказаться от точной настройки приборов и пользоваться относительными показателями. Для исследования были выбраны первая и третья категории грунтов. Применяемая аппаратура включала ударник ДорНИИ, мерные гидроэлементы, тензодатчики, усилитель и аналого-цифровой преобразователь, специализированное и общее программное обеспечение.

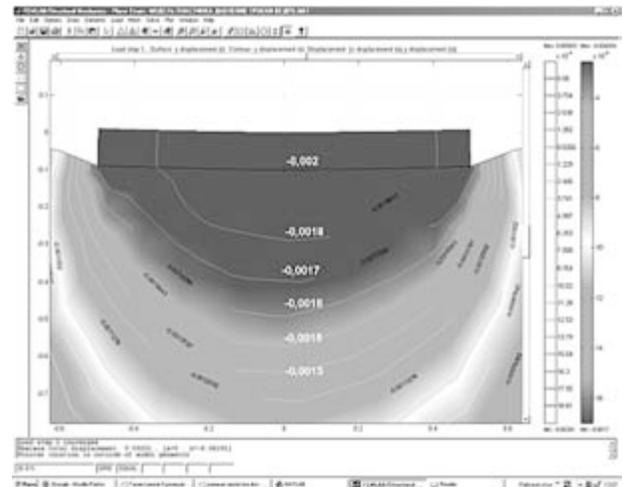
Для повышения эффективности измерений и исключения влияния близкого контакта датчика и движителей лесозаготовительных машин или элементов хворостяной подушки экспериментально определена глубина заложения датчиков, представляющих собой гибкие металлические трубки. Установлено, что оптимальной является глубина в 14–16 см (рис. 1а). Аналогичная методика описана в работе [9], где использованы точечные элементы, размещенные в толще грунта, в этой же работе показано, что максимальные смещения (15–20 см) происходят в верхнем слое грунта. Результаты моделирования в среде Матлаб дали аналогичные результаты (рис. 1б). Контроль параметров моделирования проводился на основании диаграмм напряжений грунта, приведенных в работах [3] и [7].

Основные исследования проводились в три этапа:

1. На первом этапе проведены лабораторные исследования на смоделированном образце почвы; отработывалась методика; исследовались границы изменения изучаемых параметров;
2. На втором этапе проведена оценка верхней границы необходимого для строительства волоков объема отходов лесозаготовок.



а



б

Рис. 1. Определение оптимальной глубины заложения датчиков:

а — экспериментально; б — моделированием в Матлаб (масштаб 1:10)

3. На третьем этапе с учетом ранее полученных результатов и модернизации приборной базы проводились исследования напряженного состояния грунта под опорными поверхностями лесозаготовительных машин — колесных и гусеничных, с целью выяснения взаимосвязи между объемом отходов лесозаготовок и восстановлением несущей способности.

Схема взаимодействия лесозаготовительной машины, отходов лесозаготовок и грунта приведена на рис. 2.

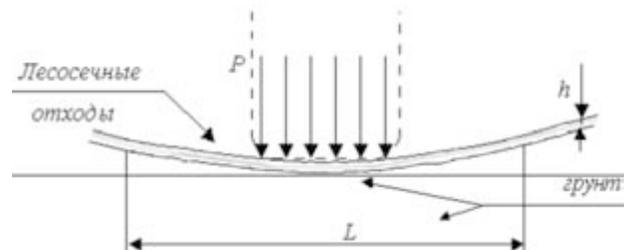


Рис. 2. Схема воздействия движителя на почвогрунт

*Первый этап.* Цель этапа – определить эффективность использования ориентированного размещения отходов лесозаготовок на волокне. В подготовленный образец грунта укладываются мерные элементы. При помощи рычажного механизма производим нагружение до рабочих давлений лесозаготовительной машины. Фиксируем величину деформации грунта. Затем последовательно укладываем слои с ориентацией вдоль оси предполагаемого волокна, перпендикулярно первому слою и вновь вдоль оси волокна. Промежуточные значения углов ориентации не учитывались, так как в ходе исследования выявлено их слабое влияние на показатели деформации грунта. Для исключения влияния ползучести нагружение проводилось с максимально возможной скоростью.

*Второй этап.* Общая схема эксперимента не изменилась, исследование проводилось в условиях движения трактора по естественному грунту. Фиксировали линейное перемещение мерного элемента, находящегося в толще грунта, при изменении состояния нагружения грунта.

*Третий этап.* Отходы лесозаготовок длиной 0,7 м и диаметрами от 2 до 70 мм, предварительно сформированные в пачки массой 2 кг (локальная концентрация составила от 0,003 до 0,012 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>), укладывались на волок по пути следования лесозаготовительной машины. Концентрация отходов по длине волокна нарастала. Тензочувствительные элементы, связанные при помощи кабеля с усилителем и аналогоцифровым преобразователем, закладывались на глубину 150 мм; накопление и хранение данных осуществлялось при помощи портативного компьютера. Так как для установки датчика необходимо нарушить исходное состояние грунта, для минимизации воздействия датчика устанавливались в боковую стенку шурфа. После 10 проходов трактора производилось повышение локальной концентрации отходов лесозаготовок (на рисунке увеличение плотности показано более жирной штриховкой). Ориентации отходов лесозаготовок не проводилось.

## ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведено статистическое исследование результатов: определена достоверность, рассчитаны средние значения и величина дисперсии, принадлежность к одному и тому же распределению – нормальному, определено необходимое количество опытов. После обработки построены кривые нагружения. Данные обрабатывались средствами программы Excel. Обработка включала удаление ненагруженных участков кривой, выявление максимальных значений, статистическую обработку, построение корреляций и выяснение уровня снижения напряжений при использовании отходов лесозаготовок для строительства волокон.

Общая постановка задачи не требует знания величины деформаций и напряжений, возник-

ающих в грунте. При необходимости перевод в единицы линейных перемещений в почвогрунтах осуществлялся по формуле:

$$\Delta h = \frac{4 \cdot R^2 \cdot \Delta L}{d \cdot A}, \quad (1)$$

где  $R$  – радиус пробного элемента, мм;  $\Delta L$  – перемещение указателя, мм;  $d$  – диаметр пробного элемента, мм;  $A$  – длина пробного элемента, мм.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В первых сериях эксперимента повышение нагрузки велось до потери грунтом устойчивости; при превышении этого предела погружение пробной площадки продолжалось без увеличения нагрузки до глубины 5–6 см. Так как в этом случае происходило существенное перемещение грунта и наблюдались значительные остаточные деформации, что не позволяло вести в этих условиях дальнейшие нагружения, в последующих сериях нагружение вели до среднего давления, создаваемого груженым трактором, – 0,4–0,5 МПа.

График распределения величины деформации дает наглядное представление об изменении ее характера, как по величине, так и по набору значений при использовании отходов лесозаготовок для укрепления поверхности волокон. Подтверждает сказанное и график накопленных частот.

При чистой поверхности грунта вероятность появления средних значений меньше и более значимы деформации в области 50–90 (линия 1 на рис. 3а, 3б, величины деформаций нормированы). При использовании одного слоя отходов лесозаготовок вероятность появления средних значений повышается с одновременным уменьшением доли высоких значений деформации (линия 2 на рис. 3а, 3б). При использовании двух слоев отходов лесозаготовок с ориентацией вдоль и поперек средние значения уменьшаются, а их доля возрастает. При этом максимальные значения, обычные для первого и второго случая, не достигаются (линия 3 на рис. 3а, 3б). График изменения деформаций внутри грунта и деформации грунта на поверхности в лабораторных условиях в зависимости от давления на грунт приведен на рис. 4.

Разница в результатах объясняется тем, что при измерении деформации на поверхности происходит вдавливание элементов отходов лесозаготовок в грунт и, соответственно, изменение деформации происходит на каждом шаге однозначно (рис. 4а), при измерении деформации в толще грунта нагрузка распространяется также в стороны и, соответственно, нагрузки на отдельный элемент (рис. 4б) усредняются и уменьшаются, что вызывает появление неоднозначных данных. Кроме того, в начале нагружения происходит интенсивное перераспределение внутренних напряжений, что искажает картину смещений, особенно в условиях отсутствия укрепления.

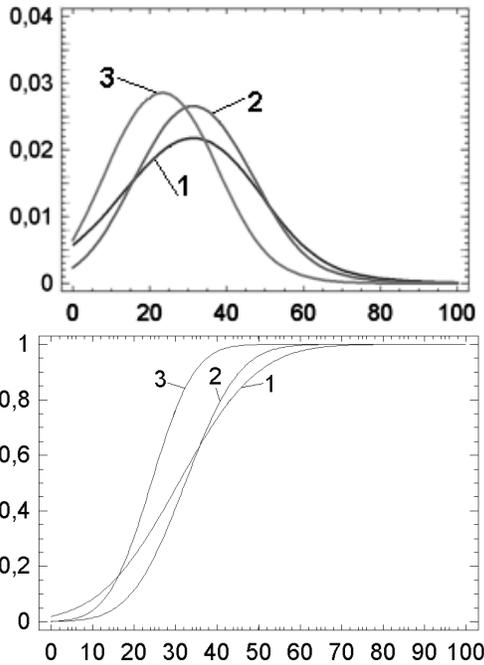


Рис. 3. Распределения деформаций грунта при изменении толщины и ориентации хворостяной подушки (лабораторные условия)



а



б

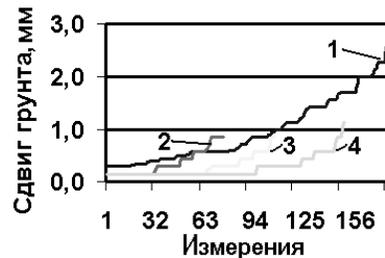
Рис. 4. Деформация в зависимости от нагрузки и расположения отходов лесозаготовок (лабораторные условия):

1 – нет отходов лесозаготовок; 2 – отходы уложены поперек (один слой); 3 – отходы уложены вдоль (два слоя)

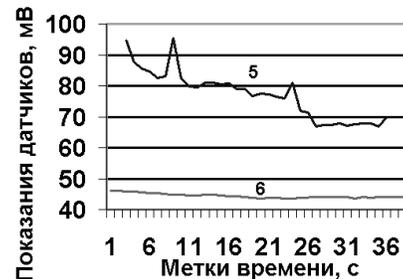
Таким образом, показана принципиальная эффективность использования отходов лесозаготовок для устройства волоков.

Второй этап – полевые исследования – показал в целом аналогичные результаты. Отличия состоят в более четком разделении линий нагружения грунта без отходов и с одним слоем отходов лесозаготовок.

Анализ поведения нагруженного грунта в зависимости от расположения отходов лесозаготовок выявил значимое улучшение показателей состояния грунта (см. рис. 5), при поперечном (по отношению к оси волока) расположении отходов лесозаготовок показал снижение деформаций грунта соответственно в 2,79, 3,85 и 3,86 раза по сравнению с незащищенным грунтом, что в среднем для произвольного расположения отходов лесозаготовок составляет 3,5 раза. Кроме того, величины деформаций грунта достигают значений, соответствующих движению машины по волоку без защитного слоя, гораздо реже (рис. 5а, линии 3 и 4), за исключением расположения отходов лесозаготовок вдоль оси волока, при этом достаточно быстро происходит превышение значений для незащищенного грунта (рис. 5а, линия 1). На рис. 5б приведены результаты тензометрического исследования грунта со слоем отходов и без него. Заметно сниженные величины деформаций и отсутствие пиков при использовании отходов лесозаготовок. Снижение деформаций составило 1,68 раза.



а



б

Рис. 5. Деформация в зависимости от нагрузки и расположения отходов лесозаготовок (полевые условия):

а – сортированные данные; б – показания тензодатчиков;  
1 – нет отходов лесозаготовок; 2 – отходы уложены параллельно;  
3 – отходы уложены поперек; 4 – отходы уложены внахлест

При проведении замеров было отмечено резкое повышение напряжения в грунте при прохождении последнего катка гусеничного трактора, аналогичное данным, приведенным в [4], что подтверждает адекватность применяемой методики реальным условиям.

Следует сделать вывод, что в целом данные первого и второго этапов эксперимента соответствуют друг другу.

Третий этап исследований нацелен на оценку объема отходов лесозаготовок, необходимого для поддержания состояния волока в работоспособном состоянии, обеспечивающем полное сохранение производительности лесозаготовительного оборудования на исходном уровне.

Результаты исследования деформаций в грунте в процессе движения гусеничного и колесного тракторов приведены на рис. 6. «Ступени» на графиках соответствуют добавлению отходов лесозаготовок на волок (в объеме  $0,025 \text{ м}^3/\text{м}^2$  через каждые 10 проходов трактора).

Средняя разница между величинами снижения деформации составила соответственно 1,25, 3,79 и 5,82 раза, или в среднем 3,62 раза, что соответствует данным второго этапа, причем увеличение концентрации отходов лесозаготовок на волоке не вызывало изменения эффективности снижения величины деформации грунта на волоке.

Результаты исследований третьего этапа показали, что минимальный необходимый уровень использования отходов лесозаготовок на строительстве волоков составляет  $0,023 \text{ м}^3/\text{м}^2$  для колесных и  $0,012 \text{ м}^3/\text{м}^2$  – для гусеничных машин, что вызывает повышение производительности основного технологического процесса вследствие снижения вероятности буксования, увеличения скорости передвижения, снижения трения о стенки колес.

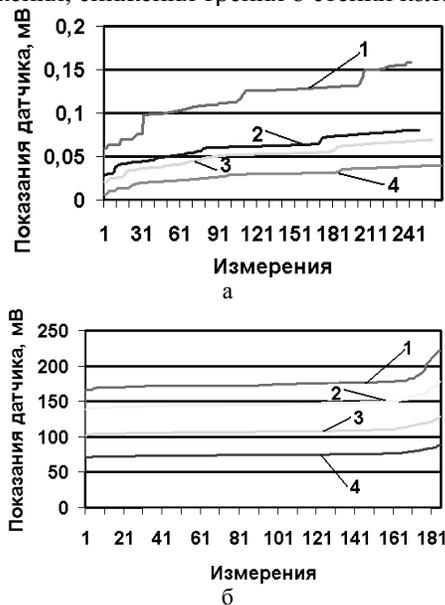


Рис. 6. Деформация грунта в зависимости от нагрузки и расположения отходов лесозаготовок, полевые условия:

а – гусеничный трактор; б – колесный трактор;  
1 – грунт без укрепления; 2 –  $0,025 \text{ м}^3/\text{м}^2$ ; 3 –  $0,05 \text{ м}^3/\text{м}^2$ ; 4 –  $0,075 \text{ м}^3/\text{м}^2$

На основании полученных результатов определено, что при задании граничного условия в виде сохранения несущей способности волока на уровне, обеспечивающем выполнение сменного задания для второго и третьего типа грунтов, требуется все отходы лесозаготовок, имеющиеся на лесосеке, направлять на строительство волоков (см. таблицу). Таким образом, использование отходов лесозаготовок в других направлениях исключено.

Количество лесосечных отходов, необходимое для обустройства волока,  $\text{м}^3/\text{м}^2$

Тип машины		Гусеничные машины			Колесные машины		
		0,4	0,6	0,8	0,4	0,6	0,8
1-й тип местности, относительная влажность менее 0,75 %	1 Песок	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06
	2 Супесь	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06
	3 Суглинок	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,07
2-й тип местности, относительная влажность от 75 до 90 %	4 Песок	0,04	0,05	0,08	0,05	0,07	0,10
	5 Супесь	0,04	0,05	0,08	0,05	0,07	0,10
	6 Суглинок	0,05	0,06	0,09	0,05	0,07	0,11
3-й тип местности, относительная влажность более 90 %	7 Глина	-0,08	-0,11	-0,16	-0,56	-0,75	-1,12
	8 Песок	0,04	0,05	0,08	0,05	0,07	0,11
	9 Супесь	0,04	0,05	0,08	0,05	0,07	0,11
относительная влажность более 90 %	10 Суглинок	0,05	0,06	0,10	0,05	0,07	0,10
	11 Глина	-0,11	-0,15	-0,23	-0,68	-0,90	-1,35
	12 Торф	-0,49	-0,65	-0,98	-1,89	-2,52	-3,77

При менее сложных условиях допустимо использование только части отходов лесозаготовок для строительства волоков или использование частичных укреплений – низин, торфяников. Возможно другое решение – направлять все возможные отходы лесозаготовок на утилизацию при малой доле слабых мест, в зимний период, на сухих или хорошо дренированных лесосеках, при высокой проходимости лесозаготовительной техники. Дополнительный положительный эффект при данном направлении использования – удобрение лесных почв продуктами разложения отходов лесозаготовок.

В рамках продолжения исследований в 2008 году, в сезон с повышенным увлажнением, проведены полевые наблюдения за работой форвардеров в условиях древостоя с запасом  $118 \text{ м}^3/\text{га}$  (рис. 7). Подтвердились предположения о невозможности обеспечить устойчивую производительность форвардеров с использованием отходов лесозаготовок. Неоднократно наблюдалось застревание машин, в основном в понижениях рельефа. В критических условиях (в соответствии со строками 8 и 12 табл. 1) для укрепления волоков использовались ценные сортаменты.



Рис. 7. Движение форвардера в условиях повышенного увлажнения

Из полученных результатов, приведенных в таблице, следует, что при укладке лесосечных отходов параллельно, перпендикулярно и внахлест уменьшение значений линейных перемещений составит соответственно 2,79, 3,85 и 3,86 раза. Значения при укладке лесосечных отходов перпендикулярно и внахлест практически не отличаются. Следовательно, при укладке лесосечных отходов с целью снижения трудозатрат на формиро-

вание покрытия необходимо придерживаться перпендикулярной схемы расположения ветвей.

## ВЫВОДЫ

1. Укрепление путей первичного транспорта леса в перспективе должно повысить надежность работы лесозаготовительных машин – форвардеров, скиддеров, трелевочных тракторов.

2. Полевые исследования показали, что при укладке лесосечных отходов параллельно, перпендикулярно и внахлест уменьшение значений линейных перемещений составит соответственно 2,79, 3,85 и 3,86 раза.

3. Исследованиями установлено, что расположение отходов лесозаготовок ориентированными слоями более двух не приводит к радикальному увеличению несущей способности волоков (несущая способность увеличилась в 1,19 раза);

4. После 10 проходов лесной машины по транспортному пути, укрепленному лесосечными отходами, образуется конгломерат – грунт-лесосечные отходы, требующий отдельного исследования.

5. На лесосеках с глинистыми и торфянистыми грунтами возможно только частичное восстановление несущей способности волока.

6. Минимальный объем отходов лесозаготовок, вызывающий существенное увеличение несущей способности волока, –  $0,02 \text{ м}^3/\text{м}^2$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алюшин А. Б., Черепанов Б. М. Исследование напряженно-деформированного состояния замоченного лесового основания под жестким штампом-фундаментом // Ползуновский альманах АлтГТУ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://elibr.altstu.ru/elibr/books/Files/Vestn\\_2000/12\\_p/12.htm](http://elibr.altstu.ru/elibr/books/Files/Vestn_2000/12_p/12.htm).
2. Анисимов Г. М., Большаков Б. М. Основы минимизации уплотнения почвы трелевочными системами. СПб.: ЛТА, 1998. 108 с.
3. Бабков В. Ф., Безруков В. М. Основы грунтоведения и механики грунтов: Учебник для студентов автомобильных дорожных вузов. М.: Высшая школа, 1977. 328 с.
4. Беккер М. Г. Введение в теорию систем местность – машина. М.: Машиностроение, 1973. 520 с.
5. Галактионов О. Н. Теоретические и экспериментальные исследования направлений промышленного освоения отходов лесозаготовок // Проблемы лесопромышленных регионов: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. М.: ИПИИ, 2002. С. 21–22.
6. Головков С. И., Коперин И. Ф., Найденов В. И. Энергетическое использование древесных отходов. М.: Лесная промышленность, 1987. 220 с.
7. Маслов Н. Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов: Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1982. 511 с.
8. Михайлов Г. М., Серов Н. А. Пути улучшения использования вторичного древесного сырья. М.: Лесная промышленность, 1989. 223 с.
9. Ansoorge D., Godwin R. J. The effect of tyres and a rubber track at high axle loads on soil compaction, Part 1: Single axle-studies // Biosystems Engineering. [Elektronic resource]. Elektronica data. 2007. № 98(1). P. 115–126. Mode access: <https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/1826/2485>.

УДК 519.863

**ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ КОНДРАТЬЕВ**

кандидат технических наук, доцент кафедры целлюлозно-бумажных и деревообрабатывающих предприятий лесинженерного факультета ПетрГУ  
kon@psu.karelia.ru

### РЕШЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ В СРЕДЕ EXCEL-7.0

Статья посвящена решению оптимизационных задач в среде Excel-7. Приведен конкретный пример.

Ключевые слова: оптимизация, среда Excel-7

В настоящее время решение оптимизационных задач является актуальной проблемой. При этом около 85 % всех оптимизационных задач решается симплекс-методом линейного программирования.

Основная задача линейного программирования заключается в нахождении неотрицательных значений переменных, которые удовлетворяли бы условиям и приводили бы целевую функцию к максимуму или минимуму. В настоящее время подобные задачи решаются при помощи программирования на различных алгоритмических языках. В то же время решение этих задач можно осуществлять более простыми методами в среде Excel-7.0 [1], [2].

Решение оптимизационной задачи рассмотрим на конкретном примере нахождения оптимального плана производства изделий мебели посредством решения данной задачи линейного программирования симплекс-методом на ПЭВМ с использованием пакета программ Excel-7 в среде Windows со следующими условиями задачи:

1. На мебельной фабрике производят три вида столов: вид 1, вид 2 и вид 3.
2. Для изготовления каждого вида стола используют пиломатериалы двух пород древесины: сосновые и березовые.

3. Объемы пиломатериалов обозначим  $A(I, J)$ , где  $I = 1, 2$  – сосновые пиломатериалы, а  $J = 1, 2, 3$  – березовые пиломатериалы, в единицах измерения  $m^3/1000$ , причем поставки количества пиломатериалов  $B(I)$  ограничены возможностями поставщиков.

4. Каждый вид стола имеет свою стоимость  $C(J)$  в условных единицах.

5. Исходные данные приведены в табл. 1.

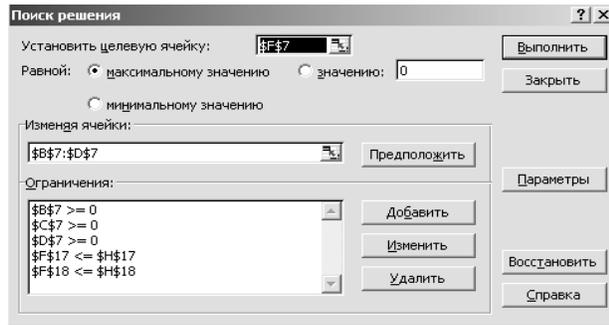
Требуется определить план производства столов  $X(J)$  с целью получения максимальной прибыли  $Z = \max$ . Для данных условий составим математическую модель (1) и запишем целевую функцию (2):

$$\left. \begin{aligned} X(1) + 3 * X(2) + 2 * X(3) &= B(1), B(1) = 3000 \\ 6 * X(1) + 5 * X(2) + 2 * X(3) &= B(2), B(2) = 3320 \\ X(1) &\geq 0 \\ X(2) &\geq 0 \\ X(3) &\geq 0 \end{aligned} \right\} (1)$$

$$Z = 18 * X(1) + 27 * X(2) + 17 * X(3) \rightarrow \max \quad (2)$$

Для решения задачи в электронную таблицу вводятся исходные данные из табл. 1, записыва-

ются условия из табл. 2 и задаются параметры в окне диалога «Поиск решения».



Стоимость по видам столов в условных единицах записываем в блок ячеек B13:D13 (табл. 3). Коэффициенты при неизвестных (нормы затрат пиломатериалов по видам столов) заносим в ячейки B19:D20. В ячейки H17 и H18 записываем максимальное количество поставляемых сосновых и березовых пиломатериалов. В ячейку F7 записываем условия целевой функции:

$$\text{СУММПРОИЗВ}(B7:D7;B13:D13).$$

Для выполнения расчетов выбирается команда: *Сервис / Поиск решения / Выполнить*.

В результате поиска решения найден оптимальный план (табл. 3) производства столов, который составил: столов первого вида – 64, второго вида – 0, и третьего вида – 1468 шт. при максимальной целевой функции:  $Z = 26108$  у. е.

Таблица 1

Условия задачи				
Пиломатериалы	Вид стола			Поставка пиломатериалов, В(П), м <sup>3</sup> / 1000
	1	2	3	
	Нормы затрат пиломатериалов А(І, J), м <sup>3</sup> / 1000			
Сосновые	1	3	2	3000
Березовые	6	5	2	3320
Цена стола С(J), у. е.	18	27	17	–

Таблица 2

Условия задачи в электронной таблице

Запись условий в ячейку		Запись ограничений в окно Поиск решения
адрес ячейки	условия	
F17	СУММПРОИЗВ(B7:D7;B19:D19)	\$F\$17<=\$H\$17
F18	СУММПРОИЗВ(B7:D7;B20:D20)	\$F\$18<=\$H\$18
		\$B\$7>=0
		\$C\$7>=0
		\$D\$7>=0

Таблица 3

Электронная таблица решения оптимизационной задачи

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2	Оптимальный расчет программы производства столов							
3								
4								
5		Количество столов, шт						
6		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>		Целевая функция Z	max	
7		64	0	1468		26108	у. е.	
8								
9								
10								
11		Цена стола, у. е.						
12		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>				
13		18	27	17				
14								
15								
16								
17		Нормы затрат п/м				3000	<=	3000
18		A <sub>i,1</sub>	A <sub>i,2</sub>	A <sub>i,3</sub>		3320	<=	3320
19		1	3	2				
20		6	5	2				

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондратьев Ю. Н. Оптимизация транспортных перевозок в среде Excel-7.0: Тезисы докладов междунар. конф. «Новые технологии и устойчивое управление в лесах Северной Европы». Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2001. С. 66.
2. Кондратьев Ю. Н. Решение транспортной задачи в среде Excel-7.0 // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. Вып. 3. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2001. С. 55–57.

УДК 676.051/.054

**АРТЕМ ВАЛЕРЬЕВИЧ КУЛЬБИЦКИЙ**

аспирант кафедры целлюлозно-бумажных и деревообрабатывающих производств лесоинженерного факультета ПетрГУ  
*qart001@mail.ru*

**СЕРГЕЙ БОРИСОВИЧ ВАСИЛЬЕВ**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой целлюлозно-бумажных и деревообрабатывающих производств лесоинженерного факультета ПетрГУ  
*servas@psu.karelia.ru*

### ВЛИЯНИЕ НА СТРАТИФИКАЦИЮ ЩЕПЫ ТОЛЩИНЫ СОРТИРУЕМОГО СЛОЯ И УГЛА НАКЛОНА СИТ

В статье приведены результаты исследования влияния толщины слоя сортируемой щепы и угла наклона плоских сит на точность отсева фракций щепы. Представлен краткий анализ проведенных исследований по данной теме.

Ключевые слова: толщина сортируемого слоя, угол наклона сит, процесс сортирования щепы

*Актуальность проблемы.* В последнее время в лесном комплексе наметилась тенденция к созданию установок и комплектных технологических линий, предназначенных для производства щепы различного назначения. Роль сортирующего оборудования в технологиях производства щепы велика. Несложная по техническому воплощению и неэнергоемкая операция позволяет выделять из всей массы измельченной древесины только ту ее часть, которая пригодна для дальнейших процессов переработки. Исходя из этого, перед конструкторами встает задача создания и доработки сортирующего оборудования, способного обеспечить разнообразные процессы технологической щепой.

Эффективность сортирования щепы оказывает большое влияние на экономические показатели производства, экологическую безопасность, развитие устойчивого лесопользования.

Для механического сортирования щепы в ЦБП в основном применяются плоские гирационные сортировки. Парк сортировок отечественного производства, находящихся в эксплуатации, обширен (8 типоразмеров). Практика эксплуатации и промышленные испытания обо-

дования показали, что различные конструктивные параметры сортировок оказывают существенное влияние на качество их работы.

С теоретической точки зрения движение щепы по ситам можно рассматривать как: а) движение материальной точки; б) движение элементарных слоев сыпучей смеси. Задача о движении по горизонтальной плоскости материальной точки, совершающей круговые колебания в той же плоскости, впервые была решена Н. Е. Жуковским геометрически. Аналитически эта задача изучена Цзя Шу-Хуаем [1]. В результате решения дифференциальных уравнений относительно движения частицы по плоскости установлено, что относительное движение совершается по круговой траектории с радиусом:

$$r_1 = r \cdot \sqrt{1 - z^2}. \quad (1)$$

Рассматриваемое движение может существовать только при условии:

$$z = \frac{g \cdot f}{r \cdot \omega^2} < 1, \quad (2)$$

где  $r$  – радиус круговой траектории колебаний плоскости;  $\omega$  – частота колебаний;  $g$  – ускорение свободного падения;  $f$  – коэффициент трения скольжения.

На основе этих теоретических предпосылок автором монографии [2] предложены уравнения регрессии для определения частоты колебаний и скорости движения щепы по ситам в сортировках с углом наклона сит  $\alpha = 2...5^\circ$ :

$$\begin{aligned} n &= 40 \cdot \sqrt{\frac{f \cdot \cos \alpha}{r}}, \\ V &= 3,7 \cdot \sin \alpha \cdot \sqrt{\frac{r}{f \cdot \cos \alpha}}. \end{aligned} \quad (3)$$

Однако данные уравнения не учитывают вид сортирующей поверхности, физико-механические характеристики сортируемого материала, взаимодействие частиц в сортируемом материале, что затрудняет их практическое использование.

В результате исследований, проведенных В. М. Цециновским [7], [8], была определена критическая частота колебаний, при которой не происходит «застревание» частиц в отверстиях сита. Полученная им формула применима для горизонтальных плетеных проволочных сит:

$$n_k = \frac{30}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{a_k}{r}}. \quad (4)$$

В этой формуле:

$$\begin{aligned} a_k &= g \cdot tg \varphi \cdot \sqrt{1 + C_0 \cdot \left(1 - \frac{\mu}{tg^2 \varphi}\right)}, \\ C_0 &= 3 \cdot \frac{\gamma \cdot h}{\gamma_0 \cdot \delta} + \frac{9}{4} \cdot \frac{\gamma^2 \cdot h^2}{\gamma_0 \cdot \delta^2}, \quad tg \varphi = \frac{1}{\sqrt{\frac{\delta + \Delta}{D + \Delta} - 1}}, \end{aligned}$$

где  $\gamma$  – объемный вес сортируемого материала;  $\gamma_0$  – удельный вес частицы;  $\mu$  – динамический коэффициент внутреннего трения продукта;  $\delta$  – диаметр частицы;  $D$  – диаметр вписанной в квадрат отверстия сита окружности;  $D + \Delta$  – шаг отверстий сита;  $\Delta$  – диаметр нитей сита.

Формула (4) для плоских частиц, каковыми являются частицы щепы, неприемлема, но с определенными допущениями может быть использована при расчете сит, предназначенных для отсева мелких фракций (опилок).

Приведенные выше теоретические разработки описывают движение по ситам частиц, а не слоя сортируемого материала. Задачу о движении по горизонтальной плоскости слоя сыпучей смеси, совершающей круговые колебания в той же плоскости, исследовали В. В. Горгинский [3] и А. Н. Журавлев [4]. Схематизируя слой сыпучей среды в виде большого числа элементарных недеформируемых слоев, между которыми действуют

силы сухого трения, авторы рассматривают установившееся движение системы, при котором каждый слой совершает круговые колебания. Наблюдаемое на опыте уменьшение радиусов траекторий колебания слоев по мере удаления от колеблющейся плоскости объясняется тем, что коэффициент сухого трения между слоями является убывающей функцией веса вышележащих слоев.

До тех пор пока ускорение колебаний плоскости  $r\omega^2$  не превосходит величины  $a = f_0 \cdot g$ , где  $f_0$  – коэффициент трения верхнего элементарного слоя, все элементарные слои остаются в состоянии покоя относительно колеблющейся плоскости. При  $r\omega^2$  больше, чем  $a = f_0 \cdot g$ , но не превосходящем некоторого предельного значения  $a_n$ , нижние элементарные слои сыпучей смеси по-прежнему движутся совместно с плоскостью, а верхние слои скользят относительно друг друга, совершая круговые колебания, радиус абсолютной траектории которых убывает по мере приближения к верхней границе слоя. Наконец, при  $r\omega^2 > a_n$  все элементарные слои движутся относительно друг друга и относительно вибрирующей плоскости, причем радиусы траекторий слоев в абсолютном движении по-прежнему убывают по мере удаления от плоскости и уменьшаются по мере увеличения частоты колебаний  $\omega$ .

Установленные в работах [3] и [4] общие закономерности послойного движения сыпучего материала не позволяют производить расчеты параметров круговых колебаний на сортирующей поверхности.

Учитывая изложенное выше, было решено провести исследование с использованием стенда, обеспечивающего варьирование различных параметров процесса сортирования щепы на плоских ситах.

*Методика проведения исследований.* Исследование процесса сортирования щепы проводилось на стенде, состоящем из следующих основных узлов: гирационная сортировка с переменными характеристиками режимов сортирования; дозатор, предназначенный для изменения количества подаваемой щепы; бункер несортированной щепы объемом  $3 \text{ м}^3$ ; металлоконструкция с площадкой для обслуживания. Сортировка щепы состоит из привода, короба, рамы, транслятора, ограждения.

В качестве привода используется двигатель постоянного тока, частота вращения ротора которого устанавливается с помощью преобразователя и тахогенератора. От электродвигателя через клиноременную передачу вращения передается на вал сортировки. Короб сортировки представляет собой сварную конструкцию. Конструкция короба позволяет менять угол наклона сит от  $0$  до  $11^\circ$ . Дозатор состоит из корпуса, электродвигателя с тахогенератором, редуктора и шнека. Изменением частоты вращения шнека достигается необходимая толщина сортируемого слоя.

Исходным продуктом сортирования являлась щепа, полученная на дисковой рубительной машине из отходов лесопиления. В качестве сорти-

рующей поверхности использовалось сито с квадратными отверстиями  $6 \times 6$  мм. Частота колебаний ситового короба составляла  $228 \text{ мин}^{-1}$ . Амплитуда колебаний равнялась 40 мм. Величина этих параметров была определена по результатам предыдущих исследований [5], [2]. Качество щепы оценивалось по фракционному составу, который определялся в соответствии с ГОСТ 15815-83. Остаток на сите анализатора с отверстиями диаметром 5 мм далее в тексте обозначен как «класс (-10 +5)», а остаток на поддоне – как «класс (-5 +0)».

По объемам и фракционному составу продуктов сортирования определялась точность отсева (процентное отношение объема данного класса в подрешетном продукте к общему его количеству в исходном) по классам (-10 +5) и (-5 +0) по формуле:

$$\xi_i = \frac{P_2 \cdot \bar{b}_i}{P_1 \cdot \bar{a}_i + P_2 \cdot \bar{b}_i} \cdot 100\% .$$

где  $P_2$  – объем подрешетного продукта  $i$ -го класса;  $P_1$  – объем надрешетного продукта  $i$ -го класса;  $\bar{a}_i$  – средняя арифметическая содержания  $i$ -го класса в надрешетном продукте сортирования;  $\bar{b}_i$  – средняя арифметическая содержания  $i$ -го класса в подрешетном продукте сортирования.

Исследование осуществлялось варьированием одного фактора с закреплением других на одном постоянном уровне. При варьировании величиной угла наклона сит толщина сортируемого слоя составляла 40 мм. Угол наклона сит изменялся от 2 до  $11^\circ$  по отношению к горизонту. При варьировании величиной толщины сортируемого слоя угол наклона составлял  $5^\circ$  по отношению к горизонту. Толщина сортируемого слоя изменялась от 20 до 80 мм.

*Результаты исследования и их обсуждение.* В ходе исследований выявлено, что при увеличении угла наклона сита от 2 до  $11^\circ$  производительность сортировки возрастает приблизительно в два раза, при этом точность отсева изменяется незначительно (табл. 1).

Таблица 1

Влияние величины угла наклона сит на производительность и точность отсева

Наименование параметров	Значения параметров при углах наклона сита, град.			
	2	5	7	11
Производительность, насыпных $\text{м}^3/\text{ч}$	20	35,5	35,5	47,8
Точность отсева фракции (-5 +0), %	88,7	87,5	82,0	86,3
Точность отсева фракции (-10 +5), %	25,5	15,0	13,11	22,8

При увеличении толщины сортируемого слоя щепы от 20 до 80 мм производительность возрастает в восемь раз, при этом точность отсева изменяется незначительно (табл. 2).

Таблица 2

Влияние толщины сортируемого слоя на производительность и точность отсева

Наименование параметров	Значения параметров при толщине сортируемого слоя, мм			
	20	40	60	80
Производительность, насыпных $\text{м}^3/\text{ч}$	2,97	12,7	19,4	35,5
Точность отсева фракции (-5 +0), %	92,6	92,4	91,7	87,5
Точность отсева фракции (-10 +5), %	17,9	17,9	20,9	15,0

*Выводы.* Экспериментальные исследования процесса сортирования позволяют установить, что угол наклона сит и толщина сортируемого слоя являются значимыми факторами, влияющими на эффективность сортирования. Увеличение толщины сортируемого слоя оказывает более существенное влияние на повышение производительности и снижение точности отсева, чем изменение угла наклона.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блехман И. И., Джанелидзе Г. Ю. Вибрационное перемещение. М.: Наука, 1964. 410 с.
2. Васильев С. Б. Влияние параметров оборудования на процесс сортирования щепы // ИВУЗ. Лесной журнал. 2007. № 2. С. 86–89.
3. Гортинский В. В. Послойное движение продуктов измельчения зерна на плоских ситах // Проблемы сепарирования зерна и других сыпучих материалов. Труды ВНИИЗ. Вып. 42. М.: Изд-во ВНИИЗ, 1963. С. 19–27.
4. Журавлев А. Н. Теоретические основы послойного движения сыпучего тела по ситам и вибрирующим поверхностям // Проблемы сепарирования зерна и других сыпучих материалов. Труды ВНИИЗ. Вып. 42. М.: Изд-во ВНИИЗ, 1963. С. 29–46.
5. Кульбицкий А. В. Влияние параметров колебаний плоских гирационных сортировок на процесс сортирования щепы // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 12 / Под общ. ред. А. С. Алексеева, Э. М. Латушера. СПб.: СПбГЛТА, 2007. С. 99–105.
6. Левенсон Л. Б., Прейгерзон Г. И. Дробление и грохочение полезных ископаемых. М.; Л.: Гостоптехиздат, 1940. 772 с.
7. Цециновский В. М. Интенсификация процесса просеивания продуктов размола на решетках // Интенсификация процесса просеивания. Труды ВНИИЗ. Вып. 23. М.: Изд-во ВНИИЗ, 1951. С. 16–24.
8. Цециновский В. М. Теоретические основы разделения сыпучих смесей // Интенсификация процесса просеивания. Труды ВНИИЗ. Вып. 23. М.: Изд-во ВНИИЗ, 1951. С. 26–34.

УДК 538.935

**АЛЕКСАНДР ЛИОНОВИЧ ПЕРГАМЕНТ**

доктор физико-математических наук, доцент кафедры информационно-измерительных систем и физической электроники физико-технического факультета ПетрГУ  
*aperg@psu.karelia.ru*

**ЕЛЕНА ЛИОНОВНА КАЗАКОВА**

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики физико-технического факультета ПетрГУ  
*ekazakova@psu.karelia.ru*

**ДМИТРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ АРТЮХИН**

магистр техники и технологии, ведущий программист ОКБ ст. Петрозаводск  
*massay@bk.ru*

**ДЕНИС ИГОРЕВИЧ ОЛЬШАННИКОВ**

студент 5-го курса физико-технического факультета ПетрГУ  
*dfe@psu.karelia.ru*

**МАКСИМ ВИКТОРОВИЧ САВЧЕНКО**

студент 5-го курса физико-технического факультета ПетрГУ  
*dfe@psu.karelia.ru*

**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ  
ЭФФЕКТА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ В ДИОКСИДЕ ВАНАДИЯ**

В статье показано, что зависимость пороговых характеристик переключаемых МОМ-структур с S-образной вольт-амперной характеристикой (ВАХ) на основе анодных оксидных пленок на ванадии и гидратированного пентаоксида ванадия от температуры и давления указывает на возможность использования их в качестве тонкопленочных микросенсоров температуры и механических величин.

Ключевые слова: переключение, переход металл-изолятор, диоксид ванадия, датчик температуры

**ВВЕДЕНИЕ**

Переключательные структуры на основе материалов с переходом металл-изолятор (ПМИ) с ВАХ, обладающей отрицательным дифференциальным сопротивлением (ОДС) S-типа (таким, как, например, диоксид ванадия  $VO_2$ ) [2], способны выполнять те же функции, что и стандартные полупроводниковые приборы с S-ОДС – тиристоры, лавинные транзисторы, p-i-n-диоды и т. д. [3]. Тем не менее, как показано в [7], такое использование эффектов ОДС («по прямому назначению») является не единственным и даже не самым главным. В частности, одно из важнейших прикладных направлений в этой области связано с использованием структур с ОДС в сенсорной технике. Необходимо отметить, что в настоящее время основная тенденция в производстве таких элементов, в том числе микросенсоров, связана с микроминиатюризацией. Малые размеры не только обеспечивают возможность интеграции, но и снижают потребляемую мощность и увеличивают быстродействие. Что каса-

ется датчиков механических величин, преобразователей и актюаторов, то тенденция к миниатюризации имеет также свою логику, связанную с необходимостью контролировать систему, не влияя на ее свойства. Однако, как показано в [10], совершенно не очевидно, что миниатюризация должна базироваться на кремниевых датчиках [13] с использованием стандартных подходов на основе VLSI (very large scale integration, крупномасштабной интеграции). Поэтому поиск новых эффективных сенсорных материалов, в том числе для такой бурно развивающейся отрасли, как MEMS (микроэлектромеханические системы), является актуальной проблемой.

В целом можно сказать, что в настоящее время датчики являются поистине ключевыми элементами при автоматизации производственных процессов и научных исследований, в области мониторинга состояния окружающей среды и во многих других сферах. Исследования, направленные на создание датчиков нового типа, опираются на материалы, их свойства, равно как и на реализацию до сих пор не использовавшихся

ся физических явлений. В частности, актуальной задачей является разработка датчиков температуры и поиск новых сенсорных материалов для них [9].

Каждый из методов измерения температуры специфичен и не обладает универсальностью, а выбор оптимального для данных условий метода определяется различными требованиями [9], [4], [13]: заданной точностью и длительностью измерений, диапазоном измеряемых температур, стоимостью, необходимостью регистрации и регулирования температуры, а также возможностью представления результатов в виде, удобном для ввода в компьютер и дальнейшей обработки. В частности, одним из перспективных направлений в данной области является разработка термодатчиков, основанных на зависимости частоты электрических колебаний от температуры. Достоинства метода частотного преобразования [4] – высокая разрешающая способность, стабильность параметров, удобство обработки выходного сигнала, возможность дистанционного измерения и высокий уровень помехозащищенности при передаче информации.

Таким образом, проблема поиска новых материалов для создания микросенсоров весьма актуальна, и важными аспектами этой проблемы являются совместимость с современной интегральной технологией, возможность реализации распределенных сетей (матриц) датчиков и целый ряд других требований, специфических для каждого типа чувствительных элементов сенсорных систем. В [7] показано, что соединения с переходом металл-изолятор (в особенности оксиды ванадия) и переключающие элементы на их основе являются перспективными материалами для создания подобного типа устройств.

В данной работе будут представлены результаты исследования температурных зависимостей частоты релаксационных колебаний, генерируемых  $\text{VO}_2$ -переключателями, в которых электронное переключение обусловлено эффектом ПМИ в этом материале при  $T_1 = 340 \text{ K}$  [2]. Будет также проведен анализ их работы в качестве датчиков температуры. В результате будет показана принципиальная возможность создания датчика температуры с частотным выходом на основе этих структур.

#### ОБРАЗЦЫ И МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ

В качестве образцов для исследования использовались как анодные оксидные пленки (АОП) ванадия [17], так и пленки, полученные золь-гель методом, так как в [5] показано, что перспективным методом формирования  $\text{VO}_2$ -переключателей является использование в качестве прекурсора ксерогеля  $\text{V}_2\text{O}_5 \times n\text{H}_2\text{O}$  ( $n = 1,6-1,8$ ).

В случае АОП базовым («нижним») электродом естественным образом является остающийся после анодирования слой металлического ванадия. Иная ситуация имеет место при исполь-

зовании пленок  $\text{V}_2\text{O}_5$ -геля, для которых при получении сэндвич-структур металл-оксид-металл (МОМ) необходимо предварительно нанести металлический подслоя на диэлектрическую (стекло, ситалл, кремний) подложку. Для нанесения подслоя использовалось термическое испарение и магнетронное распыление на установке ВУП-5М.

Для получения подслоя были опробованы различные металлы: медь, золото, сплав Pd-Au, никель, алюминий и ванадий. В большинстве случаев (Cu, Al, V, Pd-Au) наблюдалось химическое взаимодействие геля (обладающего кислотными свойствами [12]) с металлом, что выражалось в частичном растворении пленки металла и ее растрескивании (отслоении). При использовании Ni (особенно в случае достаточно тонкого слоя) сопротивление подслоя было слишком велико, что затрудняло проведение электрических измерений. С пленкой из золота гель химически не взаимодействует, однако подложку с напыленным Au гель смачивает хуже, чем стеклянную, поэтому невозможно получить пленки площадью более  $1-2 \text{ cm}^2$ . Кроме того, достаточно тонкие пленки золота также имеют относительно высокое электрическое сопротивление.

В результате этих исследований нам все-таки удалось найти практически идеальную подложку для нанесения геля пентаоксида ванадия – это система «ванадий + АОП V». При этом АОП просто играет роль буферного слоя, препятствующего прямому взаимодействию жидкого геля с металлическим ванадием, а при электроформовке происходит образование канала  $\text{VO}_2$  насквозь, то есть через слой ксерогеля и через АОП (рис. 1).

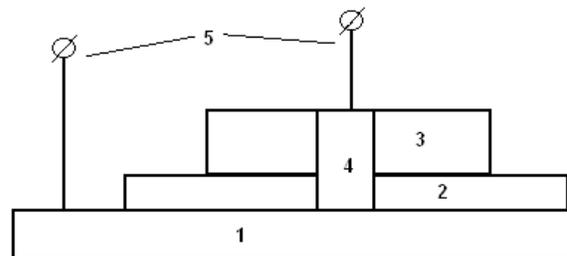


Рис. 1. Схематическое изображение исследуемой структуры:

1 – ванадий; 2 – АОП V ( $d \sim 100 \text{ nm}$ ); 3 – пленка ксерогеля  $\text{V}_2\text{O}_5$  ( $d \sim 1 \text{ мкм}$ ); 4 – канал  $\text{VO}_2$ ; 5 – электроды; в качестве верхнего электрода использовались напыленные слои металлов (Au, Al) и прижимной контакт – Au проволока диаметром  $0,5 \text{ мм}$ .

Электрофизические измерения проводились по стандартным методикам [5], [7], [8], [17] с использованием метода характеристики, а также с помощью прибора Keithley 2410 [16]; при этом скорость развертки напряжения была  $10-25 \text{ В/с}$ , а ток ограничения варьировался в пределах от  $10$  до  $150 \text{ мкА}$ .

**РЕЗУЛЬТАТЫ**

В схеме, содержащей элемент с S-образной ВАХ (рис. 2а), наблюдается генерация релаксационных колебаний, если линия нагрузки пересекает участок ОДС так, как показано на рис. 2б [3].

Частота релаксационных колебаний  $f_r$  зависит от свойств структуры (параметров ВАХ образца), параметров внешней схемы ( $C, R_L, V_0$  – см. обозначение на рис. 2) и от температуры, так как при изменении  $T$  изменяются пороговое напряжение  $V_{th}$  и соответствующий ему пороговый ток  $I_{th}$ , сопротивление выключенного (OFF) состояния  $R_{OFF}$  и другие характеристики. Величины  $R_L$  и  $V_0$  определяют область существования генерации, которая исчезает при изменении этих параметров, как только линия нагрузки выходит за пределы ОДС. В МОМ-структурах на основе АОП, в пределах области существования,  $f_r$  относительно слабо зависит от  $V_0$  (рис. 3). Параллельная емкость не влияет на область генерации, но частота сильно зависит от  $C$ . На рис. 4 представлена зависимость периода колебаний (см. рис. 2в)  $T_r = (f_r)^{-1}$  от  $C$  для одного из образцов. При больших значениях  $C$  период колебаний прямо пропорционально зависит от емкости.

Для анализа работы генератора рассмотрим зависимость периода  $T_r$  от  $V_0$  и  $C$ . Выражение для  $T_r$  можно получить из известной экспоненциальной зависимости напряжения от времени при зарядке конденсатора:

$$V(t) = V_0[1 - \exp(-t/\tau)], \tag{1}$$

откуда [3]:

$$T_r = \tau \ln \frac{V_0 - xV'}{V_0 - xV_{th}}, \tag{2}$$

где  $x = (R_L/R_0) + 1$ , а время релаксации  $\tau = R_L C/x$ . Здесь учтено, что переключатель обладает собственным активным сопротивлением  $R_0 \neq \infty$ ; если  $R_L \ll R_0$ , то  $x = 1$  и (2) переходит в обычную формулу для  $T_r$  (см., например, формулу (5.32) в [3]). На рис. 4 сплошной линией показана теоретическая (по уравнению (2)) зависимость  $T_r(C)$ . Величины  $V_0, V', V_{th}$  и  $R_L$  известны (см. подпись к рис. 4), а за величину внутреннего сопротивления S-диода принято значение  $R_0 = V_{th}/I_{th} = 215$  кОм. Экспериментальные точки хорошо совпадают с теоретической прямой в области  $C > 10$  нФ.

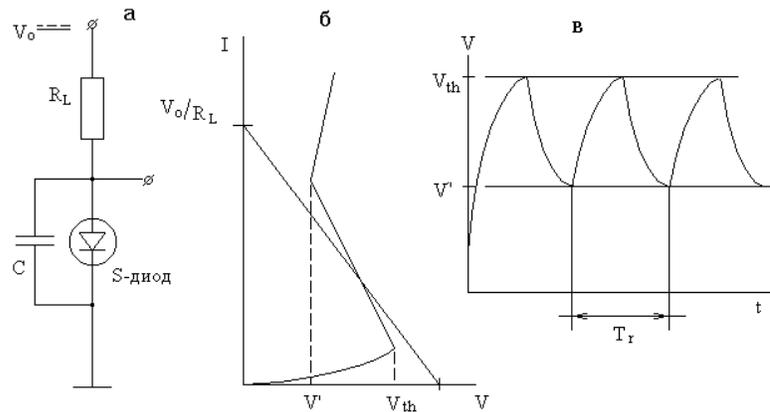


Рис. 2. Генерации релаксационных колебаний:

а – электрическая схема; собственное сопротивление «S-диода» ( $VO_2$ -переключателя) соответствует величине  $R_{OFF} \approx V_{th}/I_{th}$ ; б – ВАХ и линия нагрузки; в – осциллограмма напряжения выходного сигнала.

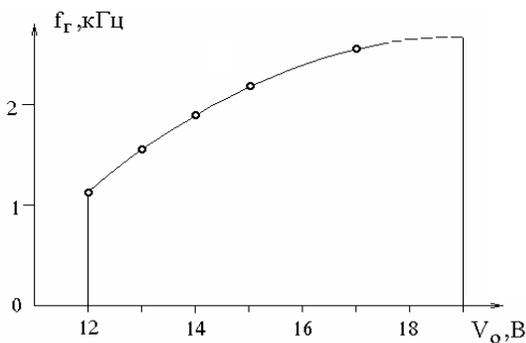


Рис. 3. Экспериментальная зависимость частоты генерации от входного напряжения для  $VO_2$ -сэндвич-переключателя на АОП

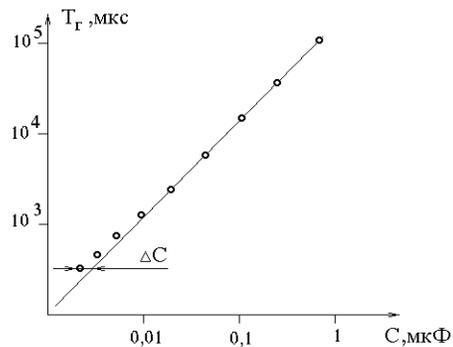


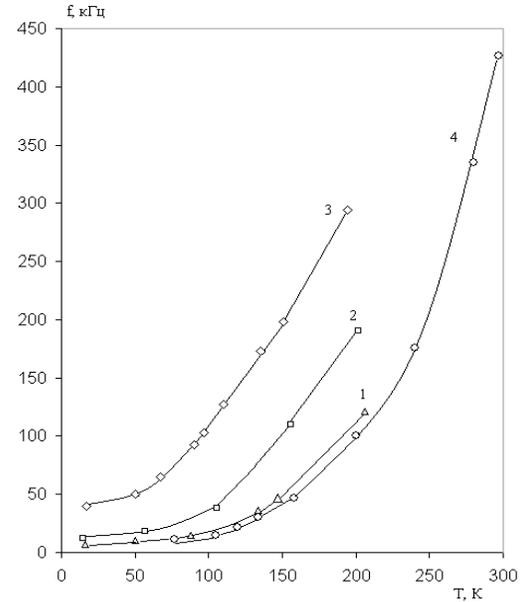
Рис. 4. Зависимость периода генерации от емкости параллельно включенного конденсатора  
Точки – по данным эксперимента, сплошная линия – по формуле (2).  $R_L = 1$  МОм,  $V_0 = 40$  В,  $V_{th} = 4,5$  В,  $V' = 1,4$  В,  $I_{th} = 21$  мкА.

Уменьшение частоты генерации по сравнению с величиной, предсказываемой формулой (2), может быть связано с тем, что при малых  $C$  реактивное сопротивление образца имеет не емкостной, а индуктивный характер. Действительно, известно [3], что при положительной обратной связи по току (S-VAX) ток запаздывает относительно напряжения: для прохождения сигнала обратной связи требуется некоторое время. Поэтому реактивная составляющая полного сопротивления носит индуктивный характер. Однако индуктивность S-диода эффективно проявляется лишь на участке ОДС; она связана с неоднородностью (шнурованием) тока [6]. В режиме генерации  $\text{VO}_2$ -переключатель большую часть времени проводит в допороговой области. Следовательно, неоднородное распределение плотности тока в образце имеет место уже при  $V < V_{th}$ , что связано с протеканием тока не под всей площадью электрода, а по каналу малого радиуса ( $\sim 1$  мкм [7]) (рис. 1). Канал переключения в этом случае аналогичен допороговому (статическому) шнуру, возникающему в определенных условиях в переключателях на основе аморфных полупроводников [6] (в отличие от обычного стабильного шнура тока при  $I > I_{th}$ ).

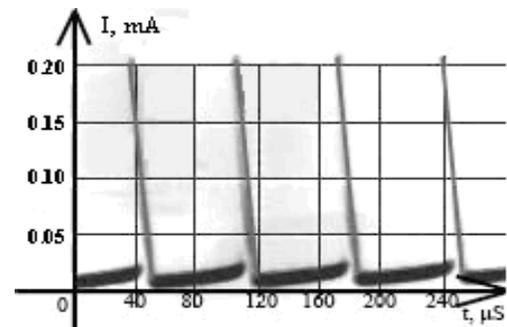
На рис. 5а представлены зависимости частоты генерации  $f_r$  макетных образцов переключателей на основе АОП  $\text{VO}_2$  от температуры. С учетом всего вышесказанного, данные результаты позволяют сделать вывод о перспективности использования указанных структур в качестве эффективных датчиков температуры, то есть о возможности реализации тонкопленочного миниатюрного (размер канала переключения, как сказано выше, составляет величину порядка 1 мкм) температурного сенсора с частотным выходом со следующими параметрами (см. рис. 5): диапазон температур – от 10 до 340 К, чувствительность – порядка  $10^3$  Гц/К, уровень выходного сигнала по току – до 0,2 мА.

Аналогичные зависимости  $f_r$  от температуры наблюдаются и для образцов на основе  $\text{V}_2\text{O}_5$ -геля. Осциллограмма таких колебаний представлена на рис. 5б. Следует подчеркнуть, что при этом технология их изготовления намного проще и дешевле [5] (что важно при массовом производстве), а разработанная методика нанесения геля на подложку из АОП ванадия исключает нежелательное взаимодействие оксида с металлом (см. раздел 2). Кроме того, легирование  $\text{V}_2\text{O}_5$ -геля вольфрамом стабилизирует параметры переключения [1], [15] (то есть минимизирует их статистический разброс, неизбежно вызываемый процессом предварительной электрической формовки [8]).

В заключение отметим, что аналогичная зависимость частоты релаксационных колебаний не только от температуры, но и от давления наблюдалась нами ранее для МОМ-структур на основе ксерогеля  $\text{V}_2\text{O}_5 \times n\text{H}_2\text{O}$  [14].



а



б

Рис. 5.

а – Зависимость частоты генерации релаксационных колебаний от температуры для трех образцов сэндвич-переключателей «V- $\text{VO}_2$ -металл» с пороговым напряжением (при 100 К)  $V_{th} = 4,4$  В (1, 2), 1,64 В (3) и 7,7 В (4). Напряжение питания и сопротивление нагрузки: 80 В и 1,4 МОм (1), 95 В и 1 МОм (2), 40 В и 0,6 МОм (3), 100 В и 1,05 МОм (4). б – Автоколебания в схеме с переключателем на основе  $\text{V}_2\text{O}_5$ -геля (фото с экрана осциллографа). Всплески тока соответствуют моментам резкого спада напряжения – см. рис. 2в.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Зависимость пороговых характеристик сэндвич-переключателей на основе АОП  $\text{VO}_2$  и гидратированного пентаоксида ванадия от температуры и давления, как показано в данной работе и целом ряде ранее опубликованных наших работ (и работ других наших коллег – сотрудников ПетрГУ) [1], [5], [7], [14], [17], указывает на возможность их использования в качестве тонкопленочных микросенсоров температуры и механических величин (давление, сила, перемещение и т. п.).

Количественные параметры исследуемых материалов, характеризующие их преимущества

по сравнению с аналогами, – это широкий диапазон измеряемых температур и высокая чувствительность.

Что касается преобразователей давления, то следует подчеркнуть, что «вертикальная» (МОМ) конфигурация более предпочтительна по сравнению с планарным вариантом, при котором для регистрации сигнала требуется изгиб подложки. Кроме того, одним из требований, предъявляемых к механическим датчикам, преобразователям и актюаторам в MEMS-системах, является малая собственная масса, что исключает обратное взаимовлияние [10]. В настоящее время речь уже идет о создании NEMS – наномеханических систем. Поэтому сочетание идеологии нанолитографии по оксидам ванадия [7], [11], [17] с возможностью использования переключаемых элементов на основе  $\text{VO}_2$  в сенсорной технике может оказаться достаточно эффективным направлением в области приложений материалов с ПМИ.

Необходимо отметить, что диапазон измеряемых температур может быть расширен в низкотемпературную область, так как нет принципиальных ограничений для работы  $\text{VO}_2$ -переключателей вплоть до температуры жидкого ге-

лия и ниже. Важной особенностью предлагаемого варианта датчика также является его быстрое действие: благодаря малым размерам и малым временам переключения ( $\sim 10^{-10}$  с) [7], [8] инерционность будет определяться только величиной порядка  $(f_r)^{-1}$ , где  $f_r$  – рабочая частота при данной температуре. Кроме того, фактически «точечная» структура «V- $\text{VO}_2$ -металл» не будет искажать распределение температуры вблизи себя, что позволит использовать набор таких датчиков для прецизионного измерения градиентов температуры, тепловых полей и т. п.

Сочетание таких качеств, как малые размеры и широкий диапазон измеряемых температур (наряду с вполне удовлетворительными показателями по точности измерений), является весьма редким и может найти применение при решении множества проблем, связанных с контролем, регулированием и измерением температуры [4], [13].

Работа выполнена при поддержке аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010)», проект № 4978. Авторы также благодарят Г. Б. Стефановича и А. А. Величко за участие в обсуждении и полезные замечания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артюхин Д. В. Электронное переключение в легированном диоксиде ванадия: Дис. ... магистра техники и технологии. Петрозаводск, 2008. 71 с.
2. Бугаев А. А., Захарченя Б. П., Чудновский Ф. А. Фазовый переход металл-полупроводника и его применение. Л.: Наука, 1979. 183 с.
3. Викулин И. М., Стафеев В. И. Физика полупроводниковых приборов. М.: Сов. радио, 1980. 296 с.
4. Гордов А. Н., Жагулло О. М., Иванова А. Г. Основы температурных измерений. М.: Энергоатомиздат, 1992. 303 с.
5. Казакова Е. Л. Электронные и ионные процессы в гидратированном оксиде ванадия: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. Петрозаводск, 2002. 153 с.
6. Костылев С. А., Шкут В. А. Электронное переключение в аморфных полупроводниках. Киев: Наукова думка, 1978. 203 с.
7. Пергамент А. Л. Электронные неустойчивости в соединениях переходных металлов: Дис. ... д-ра физ.-мат. наук. СПб., 2007. 302 с.
8. Пергамент А. Л., Ханин С. Д. Электронное переключение в тонких слоях оксидов переходных металлов // Изв. РГПУ им. А. И. Герцена. Естественные и точные науки. 2007. № 7(26). С. 69–86.
9. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM PC: Пер. с англ. / Под ред. У. Томпкинса, Дж. Уэбстера. М.: Мир, 1992. 592 с.
10. Busch-Vishniac I. J. Trends in electromechanical transduction // *Physics Today*. 1998. Vol. 51. № 17. P. 28–34
11. Cheremisin A. B., Loginova S. V., Velichko A. A., Putrolaynen V. V., Pergament A. L., Grishin A. M. Modification of Atomic Structure of Thin Amorphous  $\text{V}_2\text{O}_5$  Films under UV Laser Irradiation // *Journal of Physics: Conference Series*. 2008. Vol. 100. 052096. 5 p.
12. Livage J., Ganguli D. Sol-gel electrochromic coatings and devices: A review // *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 2001. Vol. 68. P. 365–381.
13. National Semiconductor Temperature Sensor Handbook. National Semiconductor Corporation. 1999. 40 p. <http://chaokhun.kmitl.ac.th/~kswichit/logger/temphb.pdf>.
14. Pergament A. L., Kazakova E. L., Stefanovich G. B. Optical and electrical properties of vanadium pentoxide xerogel films: Modification in electric field and the role of ion transport // *J. Phys. D: Appl. Phys.* 2002. Vol. 35. № 17. P. 2187–2197.
15. Pergament A. L., Velichko A. A., Berezina O. Ya., Kazakova E. L., Kuldin N. A., Artyukhin D. V. Influence of doping on the properties of vanadium oxide gel films // *J. Phys.: Condensed Matter*. 2008. Vol. 20. 422204. 3 p.
16. Pergament A., Velichko A., Putrolaynen V., Stefanovich G., Kuldin N., Cheremisin A., Feklistov I., Khomlyuk N. Electrical and optical properties of hydrated amorphous vanadium oxide // *J. Phys. D: Appl. Phys.* 2008. Vol. 41. № 22. 225306. 3 p.
17. Stefanovich G. B., Pergament A. L., Velichko A. A., Stefanovich L. A. Anodic oxidation of vanadium and properties of vanadium oxide films // *Journal of Physics: Condensed Matter*. 2004. Vol. 16. № 23. P. 4013–4024.

УДК 338.45:630

ПЕТР ЕВГРАФОВИЧ МОЩЕВИКИН

руководитель Центра трансфера технологий ПетрГУ

*Рец. на кн.: Шегельман И. Р. Лесная промышленность и лесное хозяйство: Словарь. 4-е изд., перераб. и доп. / И. Р. Шегельман. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2008. – 278 с.*

Традиционно сложилось так, что терминологические разработки в области лесной промышленности и лесного хозяйства были разрознены между подотраслями лесного комплекса (например, «Словарь целлюлозно-бумажного производства», 1969; «Лесное хозяйство: Терминологический словарь», 2002). Термины и определения лесной промышленности и лесного хозяйства также были разбросаны в многочисленных ГОСТах, ОСТах (например, ГОСТ 17586-80 «Бумага: Термины и определения»; ГОСТ 23246-78 «Древесина измельченная: Термины и определения»; ГОСТ 23431-79 «Древесина. Строение и физико-механические свойства: Термины и определения»; ГОСТ 15812-87 «Древесина клееная слоистая: Термины и определения»; ГОСТ 23944-80 «Древесина модифицированная: Термины и определения»; ГОСТ 20022.1-90 «Защита древесины: Термины и определения»; ОСТ 56-44-80 «Знаки лесоустроительные и лесохозяйственные» и др.), а также в учебниках и монографиях. Такой подход был вызван тем, что при директивной системе планирования все отрасли и подотрасли были четко разграничены.

В современных условиях ситуация в корне изменилась в связи с интеграционными процессами, при которых без правильного понимания и четкого толкования терминов невозможно результативное взаимодействие работников различных подотраслей лесного комплекса и смежных отраслей промышленности. Такое по-

нимание и толкование необходимо и при обучении студентов и аспирантов вузов и факультетов лесопромышленного и лесохозяйственного профилей.

Острая необходимость в обобщении и систематизации терминов и определений лесной промышленности и лесного хозяйства вызвана также глобализацией экономик, при которой все активнее идет взаимодействие специалистов разных стран в сфере производства, торговли, финансов и т. д.

Вызывает уважение четкая последовательность организации терминологических исследований И. Р. Шегельмана: в 1998 и в 1999 годах были подготовлены к печати и опубликованы в Издательстве ПетрГУ «Лесотехнический глоссарий» и «Лесопромышленный словарь»; в 2000 году был подготовлен к печати и опубликован словарь «Лесная промышленность и лесное хозяйство», в начале 2004 года было опубликовано его 2-е, в начале 2005 года – 3-е издание; в 2005 году в Санкт-Петербурге был издан «Бизнес-словарь лесной промышленности».

В этих работах с последовательным углублением и с учетом замечаний и предложений ряда ведущих специалистов отрасли и коллег автора, а также экологического, экономического, технологического и технического развития лесной промышленности и лесного хозяйства, появления новых нормативных документов и новых публикаций осуществлены обобщение и систе-

матизация основных терминов и определений лесной промышленности и лесного хозяйства.

Вполне закономерен выход в свет в 2008 году четвертого издания словаря «Лесная промышленность и лесное хозяйство», вызванного появлением в 2007 году принципиально новой редакции Лесного кодекса РФ и ряда новых нормативных документов. Знакомство с четвертым изданием словаря показывает, что он существенно расширен и переработан по сравнению с предыдущими изданиями, в него добавлен целый ряд терминов, учтено изменение лесного законодательства. Внесены смысловые исправления, улучшено оформление. Особое внимание уделено терминам и определениям, нерасшифрованным или недостаточно расшифрованным в общедоступных изданиях, а также сформулированным нечетко или имеющим трактовку, не соответствующую установленной стандартами или общепринятой в отрасли.

Разработчиком четвертого издания словаря проделана колоссальная работа по обобщению и систематизации терминов, содержащихся в действующем законодательстве, стандартах, в нормативной документации, в справочниках, словарях, энциклопедиях, монографиях, учебниках ведущих ученых отрасли по проблемам лесной промышленности и лесного хозяйства. Очевидно, что качеству разработки способствовали широкий кругозор и многолетнее взаимодействие И. Р. Шегельмана со специалистами различных подотраслей лесного комплекса.

Удачей четвертого издания словаря следует признать то, что в нем обобщены и систематизированы все основные термины и определения лесозаготовительной, целлюлозно-бумажной, лесопильной, деревообрабатывающей, лесохимической отраслей промышленности, а также лесного хозяйства. В их числе термины и определения, относящиеся к лесному бизнесу, технике, технологии и организации заготовки, транспортировки и переработки древесного сырья, лесовосстановлению, учету и оценке лесных ресурсов, лесопилению и деревообработке, лесовосстановлению, охране и защите лесов, хранению древесины, целлюлозно-бумажной промышленности и др.

Нельзя не отметить еще одно важнейшее достоинство словаря, заключающееся в том, что в конце определений (понятий) для акцентирования внимания агрегированы термины, тематически связанные с толкованием рассматриваемого и целесообразные для дальнейшего знакомства с интересующими вопросами. Это позволяет и специалистам, и студентам успешно использовать словарь в качестве учебного пособия.

По статьям, приведенным в словаре, у нас нет существенных замечаний, за исключением того, что отдельные из них (например, касающиеся федеральных министерств) несколько перегружены информацией. Неточностей также не отмечается, за исключением того, что Рослесхоз находится не в ведении Министерства природных ресурсов РФ, а в ведении Минсельхоза РФ (передача Рослесхоза из одного ведомства в другое осуществлена в 2008 году, после опубликования словаря).

Поэтому ведущиеся И. Р. Шегельманом более 10 лет терминологические исследования в области лесной промышленности и лесного хозяйства заслуживают серьезного внимания, а разработанные им отраслевые словари весьма востребованы у специалистов отрасли. Зарубежным признанием этих исследований является то, что при подготовке изданного в 2008 году в Финляндии лесного словаря «Suomalais venäläinen metsäsanakirja» использован целый ряд работ И. Р. Шегельмана: «Техническое оснащение современных лесозаготовок» (СПб., 2005), «Комплексный анализ производственно-хозяйственной деятельности лесозаготовительных предприятий» (СПб., 2006), а также первое, второе и третье издания словаря «Лесная промышленность и лесное хозяйство» (Петрозаводск, 2000, 2004, 2006 гг.), на которые в этом авторитетном издании есть ссылки.

Четвертое издание словаря «Лесная промышленность и лесное хозяйство» поможет специалистам отрасли, аспирантам, студентам вузов, факультетов и техникумов лесопромышленного и лесохозяйственного профиля овладеть четкими определениями отраслевых терминов и будет полезным для них в работе и учебе.

## МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ СЕМИНАР БУДУЩЕЕ ТРАНСГРАНИЧНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА В ОБЛАСТИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Петрозаводский государственный университет

**13–19 сентября 2009 года**

Лесоинженерный факультет Петрозаводского государственного университета проводит научно-практический семинар «Будущее трансграничного сотрудничества в области лесного хозяйства». В семинаре участвуют преподаватели, аспиранты и студенты ПетрГУ и финские коллеги. Предполагается обсудить следующие проблемы: экономика и законодательство в лесном хозяйстве России; экология лесного комплекса, защита лесов в России и в Финляндии; технология лесозаготовок России и Финляндии и другие.

### **Контактная информация**

Петрозаводский государственный университет  
Лесоинженерный факультет

185910 Республика Карелия,  
г. Петрозаводск, пр. Невского, 58.  
Тел.: (814-2) 57-13-17

E-mail [grigory@psu.karelia.ru](mailto:grigory@psu.karelia.ru)

## МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ БЕЛОГО МОРЯ И ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА

**5–8 октября 2009**

### **Организаторы конференции**

*Институт биологии КарНЦ РАН*  
(председатель оргкомитета конференции –  
доктор биологических наук, профессор,  
член-корреспондент РАН Н. Н. Немова)  
*Петрозаводский государственный университет,*  
*НИЛ «Экологические проблемы Севера»*  
(заместитель председателя оргкомитета конфе-  
ренции – доктор биологических наук, профессор  
Л. П. Рыжков)

### **Контактная информация:**

Петрозаводский государственный университет  
Лаборатория «Экологические проблемы Севера»

185910, Республика Карелия,  
г. Петрозаводск, ул. Красноармейская, 31.  
Тел. (814-2) 78-17-41

E-mail: [RLP@petsu.ru](mailto:RLP@petsu.ru)

## ХРОНИКА

■ 23 апреля 2009 года в Петрозаводском государственном университете на базе лесоинженерного факультета состоялась Первая республиканская научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и докторантов «Повышение эффективности лесного комплекса Республики Карелия».

В конференции приняли участие молодые ученые, аспиранты и докторанты Петрозаводского государственного университета. Вниманию аудитории были представлены следующие доклады: «Об одном подходе к решению задач логистики лесоматериалов» (кандидат технических наук, доцент кафедры тяговых машин А. П. Соколов); «Практическая реализация оптимальной схемы размещения волоков и погрузочных пунктов на лесосеке» (преподаватель кафедры прикладной математики и кибернетики А. М. Воронова); «Проблема лесовосстановления в Карелии. Возможный путь решения» (Институт леса КарНЦ

РАН, аспирант А. Н. Пеккоев); «О состоянии лесосек после проведения лесозаготовительных работ» (кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологии и оборудования лесного комплекса В. М. Лукашевич); «Обоснование принципов создания агрегатной машины для лесосечных работ» (кафедра технологии и оборудования лесного комплекса, аспирант П. В. Будник) и др.

Участники и организаторы решили ежегодно проводить конференцию «Повышение эффективности лесного комплекса Республики Карелия» для привлечения молодых ученых к решению вопросов развития лесного комплекса Карелии.

■ 1–5 июня 2009 года на базе Петрозаводского государственного университета проводились интенсивные курсы в рамках Финско-русской программы студенческого обмена FIRST (Finnish-Russian Student Exchange Programme) по проблемам воздействия антропогенных факторов на качество воды в природных водоемах.

Международное сотрудничество кафедры зоотехнии ПетрГУ и Университета прикладных наук Северной Карелии (г. Йоэнсуу, Финляндия) началось с осени 2005 года в рамках проекта «Международные вопросы окружающей среды». В течение трех лет изучалась степень загрязнения водных объектов сточными водами с городских предприятий, сельскохозяйственных угодий, животноводческих и рыбноводных ферм. На территории Республики Карелии были исследованы Онежское озеро (Кондопожская губа и в районе с. Шелтозеро), озера Сямозеро, Святозеро, Урозеро, Кедрозеро, Тарасмозеро, реки Лососинка, Шуя. Также изучалась эффективность работы канализационных очистных сооружений г. Петрозаводска. В Финляндии группой финских и российских студентов проводился анализ качества воды озер Тохмаярви, Атаско, Кескиярви; исследовалась эффективность защитных сооружений от стоков с сельскохозяйственных угодий.

В этом году в курсах приняли участие 26 студентов и преподавателей из ПетрГУ и Университета прикладных наук, представители предприятий г. Сортавала: МУ «Водоканал», Сорталавский лесхоз и администрация г. Сортавала.

Организовали и руководили проектом заведующий кафедрой зоотехнии, товароведения и экспертизы продовольственных товаров, профессор А. Е. Болгов и финские преподаватели Яри Спуйф и Тармо Тосавайнен. Курсы проходили в г. Сортавала в Приладожском филиале ПетрГУ. Целью совместной работы было изучение эффективности очистных сооружений города и исследование качества воды Ладожского озера и впадающих в него некоторых ручьев. В ходе проекта был выполнен большой объем научных исследований, которые осуществлялись на базе МУ «Водоканал» г. Сортавала и острова Валаам. Сотрудники этих предприятий представили широкий круг проблем, связанных с водоснабжением Сорталавского района, водоподготовкой, водоочисткой, сбросами и очисткой сточных вод, видами водопользования, а также с качеством воды в Ладожском озере, проведением водопроводных и канализационных работ.

Программа интенсивных курсов включала изучение и анализ 4 объектов: водозабор г. Сортавала; канализационные очистные сооружения (сточные воды на входе в очистные сооружения и после очистки); природные объекты вблизи

города (лесной ручей, не подверженный антропогенному влиянию, и эвтрофированный ручей в районе сельскохозяйственных угодий); вода из Ладожского озера в районе расположения Валаамского архипелага. На месте сбора проб группы определяли количественное содержание растворенного в воде кислорода, температуру воды, с помощью современного навигатора снимали точные координаты места сбора проб. В лабораторных условиях студенты проводили ряд подробных анализов воды: pH, электропроводность, цветность, содержание взвешенных веществ, количественное содержание некоторых химических соединений (ортофосфаты, нитраты, соединения железа). Также был поставлен острый опыт на

определение токсичности воды по смертности тест-объекта низших ракообразных цериодафний (*Ceriodaphnia affinis*). На основании проведенных анализов результаты исследований были обобщены и представлены на итоговом семинаре.

В рамках курсов состоялась также поездка на о. Валаам, где были не только получены пробы воды в районе островов для их лабораторного анализа, но и проведена насыщенная экскурсионная программа.

*М. Э. Хуобонен, доцент кафедры зоотехнии агротехнического факультета;*

*А. Ю. Волкова, кандидат биологических наук;*

*С. А. Шалина, аспирант кафедры зоологии и экологии эколого-биологического факультета*

**■ 2–4 июня 2009 года на базе ПетрГУ состоялась Всероссийская конференция «МЕДИКО-СОЦИАЛЬНЫЕ ПРИОРИТЕТЫ СОХРАНЕНИЯ ПСИХИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ РОССИИ (клиническая общая, детская и судебная психиатрия)».**

Конференция организована Минздравсоцразвития РФ, Минздравсоцразвития РК, ФГУ «Государственный научный центр социальной и судебной психиатрии им. В. П. Сербского», Российским обществом психиатров, ГОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет», ГУЗ «Республиканский психоневрологический диспансер» (г. Петрозаводск). Сопредседатели конференции: Т. Б. Дмитриева, директор ФГУ «Государственный научный центр социальной и судебной психиатрии им. В. П. Сербского», главный специалист психиатр Минздравсоцразвития РФ, академик РАН; В. Д. Бойнич, министр здравоохранения РК; В. Н. Краснов, директор ФГУ «Московский научно-исследовательский институт психиатрии», профессор; Н. Г. Незнанов, директор ФГУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский психоневрологический институт им. В. М. Бехтерева», профессор; Е. В. Макушкин, заместитель директора по научной работе ФГУ «Государственный научный центр социальной и судебной психиатрии им. В. П. Сербского», главный специалист детский психиатр Минздравсоцразвития РФ, профессор; А. В. Воронин, ректор ПетрГУ, профессор. Основными научными направлениями конференции стали: организация психолого-психиатрической поддержки населения в ус-

ловиях мирового экономического кризиса, современные вопросы диагностики и психотерапии психических расстройств, современные тенденции развития социально-медицинских форм деятельности в психиатрии и соблюдение прав пациента, совершенствование нормативно-законодательной базы для осуществления мероприятий медико-социальной и трудовой реабилитации пациентов, правовое и этическое регулирование психиатрической помощи. В рамках конференции проведены: пресс-конференция академика Т. Б. Дмитриевой, пленум Правления Российского общества психиатров по современным проблемам психотерапии, семинар для экономистов. Состоялись совещания специалистов судебно-психиатрической службы и специалистов детской психиатрической службы РФ, объединенное заседание специалистов профильных комиссий (главного специалиста психиатра Минздравсоцразвития РФ Т. Б. Дмитриевой и главного специалиста детского психиатра Минздравсоцразвития РФ Е. В. Макушкина), круглый стол по актуальным вопросам организации психиатрической помощи.

В конференции приняли участие представители психиатрических служб более 50 регионов России, Финляндии и Республики Беларусь.

**■ 4 июня 2009 года доктор биологических наук, профессор Петрозаводского государственного университета Андрей Викторович Коросов удостоился государственной награды Карелии. Главы Республики Карелия С. Л. Катанандов торжественно вручил А. В. Коросову удостоверение и нагрудный знак «Заслуженный деятель науки Республики Карелия».**

Андрей Викторович – выпускник ПетрГУ. В 1989 году под руководством своего учителя и научного руководителя члена-корреспондента РАН, профессора Э. В. Ивантера защитил кандидатскую диссертацию, а в 2000 году – докторскую. А. В. Коросов – автор более 100 публикаций, в том числе 10 учебников и монографий. Его научные интересы разнообразны: териология, гер-

петология, экология островных популяций, экологическая токсикология, а также методология и методы научных исследований, компьютерные технологии в биологии (ГИС, GPS).

*От всей души поздравляем одного из самых активных авторов нашего журнала – Андрея Викторовича Коросова – с присвоением ему высочайшей награды.*



26 мая 2009 года исполнилось 65 лет доктору технических наук, профессору кафедры технологий и оборудования лесного комплекса лесоинженерного факультета ПетрГУ *Александр* *Максимовичу Цыпуку*

### **АЛЕКСАНДР МАКСИМОВИЧ ЦЫПУК К 65-летию со дня рождения**

Александр Максимович родился в Петрозаводске. В 1966 году окончил Ленинградскую лесотехническую академию имени С. М. Кирова. С 1969 года работает в Петрозаводском университете. Учась в очной аспирантуре и занимаясь научной работой под руководством основоположника теории проектирования специальных лесных машин профессора С. Ф. Орлова, Александр Максимович подготовил и защитил кандидатскую диссертацию в 1974 году, а в 1996 году – докторскую. Обе работы, а также последующие направления научной деятельности А. М. Цыпука связаны с созданием и развитием теории и практики проведения лесовосстановительных работ на неподготовленных вырубках. Широкою известность получили его работы по обоснованию проектных параметров и созданию лункообразователя для подготовки лесных почв под посадки лесных культур. Результаты данной работы были отмечены золотой и бронзовой медалями ВДНХ СССР.

Работая в ПетрГУ, А. М. Цыпук прошел путь от преподавателя и научного сотрудника до доктора технических наук и профессора. В течение многих лет он успешно работает на кафедре технологий и оборудования лесного комплекса лесоинженерного факультета. Эту свою основную деятельность он совмещает с работой в институте экономики Карельского научного центра РАН. Требовательный и умелый организатор, он разработал оригинальные учебные курсы и создал лабораторию лесовосстановления.

Результаты его научной деятельности отражены более чем в 200 работах в отечественных и зарубежных журналах. Александр Максимович автор нескольких работ по механизации лесовосстановления, соавтор разработок, защищенных патентами. Научные интересы А. М. Цыпука сегодня связаны с конструированием и экономикой применения новых машин, причем он нашел совершенно особый ракурс, объединяющий их на основе динамического взаимодействия в структуре лесопромышленного комплекса. С использованием этого подхода защищены две кандидатские диссертации. Сформировано оригинальное научное направление в механизации лесовосстановления, которое Александр Максимович активно развивает.

Профессор А. М. Цыпук активно участвует в работе российских и международных сообществ и конференций, ученого совета лесоинженерного факультета, в 2002 году избран членом-корреспондентом РАЕН.

**От души поздравляем Александра Максимовича с юбилеем, желаем ему здоровья, дальнейших успехов в науке и педагогической деятельности!**

## ЕДИНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К РУКОПИСЯМ, ПРЕДСТАВЛЯЕМЫМ В ЖУРНАЛ

Публикации в журнале подлежат статьи, ранее не печатавшиеся в других изданиях.

Статья предоставляется в распечатанном виде на бумаге формата А4 (в двух экземплярах) и в электронном виде, на носителе или вложением в электронное письмо на адрес редакции журнала. Печатная версия статьи подписывается всеми авторами.

Статья набирается в текстовом редакторе Microsoft Word и сохраняется с расширением .doc. Объем оригинальной и обзорной статьи не должен превышать 1 печатный лист, кратких сообщений – 5–6 страниц, отчетов о конференциях и рецензий на книги – 3 страницы. Поля: верхнее и нижнее – 2 см, правое и левое – 3 см. Абзацный отступ – 0,5 см. Шрифт: Times New Roman, размер – 14 пунктов, аннотация, список литературы – 12 пт, межстрочный интервал – полуторный. Нумерация страниц – справа внизу страницы.

Статья должна состоять из следующих элементов: названию статьи должен предшествовать индекс универсальной десятичной классификации (УДК) в левом верхнем углу. Далее через 1 интервал – название статьи жирным шрифтом заглавными буквами, название должно быть по возможности кратким, точно отражающим содержание статьи. Точка в конце названия статьи не ставится. Сведения об авторе (имя, отчество, фамилия автора (-ов) полностью; ученая степень и звание; место работы: вуз, факультет, кафедра; должность; электронный адрес и контактные телефоны). Аннотация (объемом не более 6 строк) на русском и английском языках, перед ней – название статьи и фамилия (-ии) автора (-ов) также на 2 языках; ключевые слова от 3 до 8 слов (или словосочетаний, несущих в тексте основную смысловую нагрузку) также на двух языках. Все перечисленные элементы статьи отделяются друг от друга пустой строкой и печатаются без абзацного отступа через 1 интервал.

Основной материал статьи и цитат, приводимых в статье, должен быть тщательно выверен автором. Сокращения слов не допускается, кроме общепринятых сокращений химических и математических величин и терминов. Размерность всех физических величин следует указывать в системе единиц СИ.

Список литературы, примечания, комментарии и пояснения по тексту статьи даются в виде концевых сносок. Список литературы должен быть напечатан через одинарный интервал, на отдельном листе. Цитируемая в статье литература (автор, название, место, издательство, год издания и страницы (от и до или количество)) приводится

в алфавитном порядке в виде списка в конце статьи (сначала отечественные, затем зарубежные). Фамилии иностранных авторов приводятся в оригинальной транскрипции). В тексте статьи ссылка на источник делается путем указания в квадратных скобках порядкового номера цитируемой книги или статьи, через точку с запятой – цитируемых страниц, если это необходимо. В книгах иностранных авторов, изданных на русском языке, после заглавия книги через двоеточие указывают, с какого языка сделан перевод. Выходные данные по статьям из журналов и сборников указывают в следующем порядке: фамилия (-ии) автора (-ов) с инициалами, название статьи, через две косые черты – название журнала (год, том, номер, страницы (от и до) или сборника (место издания, год, страницы (от и до))). По авторефератам – фамилия, инициалы, полное название автореферата, после которого ставят двоеточие и указывают, на соискание какой степени и в какой области науки защищена диссертация, место издания, год, страницы.

Таблицы – каждая печатается на отдельной странице, нумеруется соответственно первому упоминанию ее в тексте и снабжается заголовком. Таблицы должны быть предоставлены в текстовом редакторе Microsoft Word (формат .doc). В тексте следует указать место таблицы и ее порядковый номер.

Иллюстрации (рисунки, фотографии, схемы, диаграммы) нумеруются, снабжаются подписями и представляются в виде отдельных растровых файлов (в формате .tif, .jpeg), а в тексте рукописи указывается место, где они должны быть размещены. Для оригиналов (бумажная версия) на обороте каждой иллюстрации ставится номер рисунка, фамилия автора и пометка «верх», «низ». Каждый рисунок (их не должно быть более 5–6) должен иметь название и объяснение всех кривых, цифр, букв и прочих условных обозначений, размещенных под ним. В тексте статьи должна быть ссылка на конкретный рисунок, например (рис. 1).

Статьи, поступившие в редакцию, обязательно рецензируются. Если у рецензентов возникают вопросы, статья возвращается на доработку. Редакция оставляет за собой право внесения редакторских изменений в текст, не искажающих смысла статьи.

Материалы, не соответствующие предъявленным требованиям, к рассмотрению не принимаются.

Решение о публикации принимается редакционной коллегией журнала.

## CONTENTS

### ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

*Medvedev P. P., Gashkov I. I.*

#### RESEARCH OF SUBREGIONAL SETTling SYSTEMS OF THE RUSSIAN NORTH (to the statement of the problem)

*Summary:* The article is devoted to the investigation of sub-regional settling system morphology in the Russian North. The entire system is considered as specific territorial-spatial entities, appearing in a complex of traditional architectural-spatial systems and folk architecture constructions on the territory of the North-West of the Russian Federation.

*Key words:* The Russian North, sub-regional settling systems, morphology, traditional architectural-spatial systems and folk architecture constructions .....7

*Grafova E. O., Ajukaev R. I., Venitsianov E. V.*

#### MATHEMATICAL MODELING OF WATER PURIFICATION PROCESS RESEARCH (Part 2 “Dry” filtering)

*Summary:* In water supply of country objects application of “dry” filters is highly perspective. The results of mathematical modeling of the process of “dry” filtering are presented. The explanation of “film” weight exchange effect is given.

*Key words:* “Dry” filtering, film current, granular layer, mathematical modeling, water supply of country objects. ....18

*Selyutina L. F., Kornilov V. V.*

#### THE TRUSS-PLATES WITH JOINT CONNECTIONS RESEARCH

*Summary:* The results of research of truss-plates with joint connections by means of gang-nails have been conducted. The research was made with the help of SCAD program complex. The influence of the following factors was studied: truss components cross-sectional height, lattice shape, depth of truss.

*Key words:* Truss plates, joints, gang-nails, research .....26

### BIOLOGY

*Gorbach V. V., Reznichenko E. S.*

#### THE BUTTERFLY SPECIES COMPOSITION AND DISTRIBUTION IN SOUTHEASTERN FEN- NOSCANDIA (LEPIDOPTERA, DIURNA)

*Summary:* The information collected on butterfly species composition and distribution in southeastern Fennoscandia was generalized in the article. Currently a total of 100 species, 6 families has been recorded in the region. Provincial distribution was shown for each species; we indicated 8 groups, which united the butterflies with similar distribution on the research area.

*Key words:* Butterflies, southwestern Fennoscandia, biogeographical provinces, species composition, distribution of species .....31

*Korosov A. V.*

#### THE PRINCIPLE OF EXPEDIENCE AND BIOLOGICAL MODELING

*Summary:* Knowledge is expedient, but is not true. Different (and often latent) goals define the structure of the system definition and its models. Starting from various goals meant for the same bio-ecological phenomenon, different schemes of the model description might be developed. One of the objectives of modeling is to reveal all purposes of this process (as far as it is possible) and choose the really necessary ones.

*Key words:* System approach, simulating, expedience .....40

### FORESTRY

*Gavrilova O. I., Hlyustov V. K.*

#### COMMON SPRUCE GROWTH IN THE SOTHEREN KARELIA

*Summary:* The problems of artificial reforestation of spruce after clear cutting are presented in the article. The model of medium height for the conditions of fresh and old cuttings has been suggested.

*Key words:* Artificial reforestation, common spruce, grows of plants, clear cutting .....47

Raevsky B. V.

### SOME RESULTS OF INTRODUCTONAL TESTS FOR LODGEPOLE PINE IN SOUTHERN KARELIA

*Summary:* Survival, stability and growth pattern of lodgepole pine and Scotch pine provenances in mixed stand experiment has been investigated over the 20 year period. It has been revealed that *Pinus contorta ssp. latifolia* as an exotic pine proved not only to be able to adapt successfully to soil and climate conditions of Southern Karelia, but is being in the process of naturalization considering the growth of its "Karelian" provenances. Considering the stem volume growth of exotic pine versus the indigenous pine within the scope of 20 year period since planting predominantly the lodgepole pine has been assessed as equal to 37,1 % if calculated using maximum mean annual increment values.

*Key words:* Lodgepole pine, Scotch pine, provenances, growth, survival .....51

Riakhin V. A., Sinkevich S. M.

### COMPUTER ASSISTANCE METHODS FOR SOLVING FOREST MENSURATION PROBLEMS FOR EDUCATIONAL PROCESS

*Summary:* Computer assistance methods are proved for solving forest mensuration problems for educational purposes. The examples of practical use of spreadsheets in tutoring the students to a solution of basic problems of forest mensuration are presented.

*Key words:* Forest mensuration, education, spreadsheets .....60

## MATHEMATICS AND APPLIED MATHEMATICS

Zaika Yu. V., Kostikova E. K.

### DIFFERENTIAL SCHEME FOR THE BOUNDARY-VALUE PROBLEM OF TDS-DEGASSING WITH DYNAMICAL BOUNDARY CONDITIONS

*Summary:* Degassing of a plate saturated with hydrogen is considered. The experiment is based on the thermal desorption spectrometry (TDS) method. The results of numerical modeling are presented. The model is a boundary-value problem with nonlinear dynamical boundary conditions. The main physical and chemical processes in the bulk and surface of the sample, such as dissolution, inversable capture by defects, diffusion and desorption.

*Key words:* Hydrogen permeability, boundary-value problems, dynamical boundary conditions, differences scheme .....65

Bogdanova M. V.

### BASIC STOCHASTIC TRANSPORT PROBLEM RESEARCH

*Summary:* The article addresses such issues as: target setting of stochastic transport problem, formulation of class of mathematical models, research characteristics of basic problem, criterion for problem optimal decision and the method of its solution.

*Key words:* Stochastics, transport problem, variate .....71

## MEDICINE

Vayuta N. P.

### RADIOACTIVE IODINE TREATMENT FOR BENIGN THYROID GLAND DESEASES WITH THE THYRETOCSICOSIS SYNDROME

*Summary:* The patients (106 people) with non-malignant diseases of thyroid gland (TG), complicated with thyretocsicos were treated with radioiodotherapy (RIT). The tolerance, side effects, optimal doze, TG function and size were analyzed in 6–12 month of RIT treatment. The average dozes of radioactive iodine (110–240–340 MBK) proved to be efficient and no complications were found. 26 % of patients showed stable aeuthyreos, and 74 % of patients showed stable hypothyreos in 6–12 months after RIT. TG size reduction by 54,5 % and stable elimination of thyretocsicos in 6 months after treatment allows to use RIT as alternative strumectomy for the big size TG cases and serious accompanying pathology with the big risk of operative treatment.

*Key words:* Thyroid gland diseases, thyretocsicos, radioiodinotherapy .....74

Marusenko I. M.

### RHEUMATOID ARTHRITIS EXPERIMENTAL TREATMENT WITH LEFLUNOMIDE

*Summary:* The article is devoted to the problem of a disease modifying antirheumatic therapy of rheumatoid arthritis, in particular to using a new drug – leflunomide. Rheumatoid arthritis is the most common inflammatory joints disease, which often leads to patient disability. The introduction of leflunomide in clinical practice gives rheumatologists new opportunities in restraint of arthritis activity and delays the disease progress. Leflunomide is a new disease modifying antirheumatic drug which the efficiency comparable to "the gold standard" – methotrexate. In the article the data received by the author on leflunomide application in treatment of rheumatoid arthritis are submitted.

*Key words:* Disease modifying antirheumatic drug therapy, leflunomide, methotrexate, rheumatoid arthritis .....78

*Ryabkov V. A., Vezikova N. N., Barysheva O. Yu., Volkova T. O.*

### THE EFFECT OF RHEMATOID ARTHRITIS THERAPY WITH DISEASE-MODIFYING ANTI-RHEUMATIC DRUGS ON THE ACTIVITY OF PERIPHERAL BLOOD LYMPHOCYTES APOPTOSIS

*Summary:* The changes of peripheral blood lymphocytes apoptosis parameters (caspases 4, 6, 8, number of 1- and 2-thread serration of DNA) during rheumatoid arthritis therapy with disease-modifying antirheumatic drugs were investigated. The illness activity decrease was accompanied by the number of 1-thread serration of DNA increase, the tendency to the growth of caspases 6 and 8 activity. No prognostic role of studied parameters concerning disease-modifying anti-rheumatic drugs effectiveness was revealed.

*Key words:* Rheumatoid arthritis, apoptosis, lymphocytes, caspases, DMARD, methotrexate .....83

## ENGINEERING

*Galaktionov O. N., Kuznetsov A. V., Piskunov M. A.*

### THE PROPERTIES OF FLOORING MADE OF LOGGING WASTE PRODUCTS AND GROUND CONDITION OF THE SKIDDING ROAD

*Summary:* The article sums up the research of the impact of logging waste soils on the skidding roads. The impact of stress and deformation for logging waste flooring encountered on the ground when driving forwarders has been investigated. The quantitative characteristics of logging waste flooring for the necessary level bearing soil capacity are found.

*Key words:* Logging waste, use of waste products, forest machines .....90

*Kondrat'ev Yu. N.*

### HOW TO SOLVE OPTIMIZATION PROBLEMS IN EXCEL-7 SOFTWARE ENVIRONMENT

*Summary:* The article is devoted to the problem of optimization in Excel-7 software environment. Some specific examples are given.

*Key words:* Optimization, Excel-7 software environment .....96

*Kulbitsky A. V., Vasilyev S. B.*

### INFLUENCE OF THE SCREENING LAYER THICKNESS AND SIEVE INCLINATION ANGLE ON SCREENING EFFICIENCY

*Summary:* The article describes the results of comparative study of the screening layer thickness and inclination angle of sieve parameters and their influence on the screening efficiency. A brief analysis of the conducted research is also given.

*Key words:* Screening layer thickness, inclination's corner of sieve, a process of sorting wood cheep .....98

## PHYSICS

*Pergament A. L., Kazakova E. L., Artyukhin D. V., Ol'shannikov D. I., Savchenko M. V.*

### PHYSICAL PRINCIPLES OF SENSOR DESIGN ON THE BASIS OF THE SWITCHING EFFECT IN VANADIUM DIOXIDE

*Summary:* It is shown that the dependence of the threshold characteristics on temperature and pressure in the MOM structures based on vanadium anodic oxide films and hydrated vanadium pentoxide, with the S-shaped I-V characteristics, makes them potential materials for making thin-film micro-sensors of temperature and mechanical quantities.

*Key words:* Switching effect, metal-insulator transition, vanadium dioxide, temperature sensor .....101

## REVIEWS

*Moschevikin P. E.*

Book review: *Shegel'man I. R. Forest Industry and Forestry: Glossary* .....106

SCIENTIFIC INFORMATION .....108

## JUBILATION

To the 65th Birthday Anniversary of A. M. Tsipuk .....111

INFO FOR THE AUTHORS .....112

## **РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ: инструмент для оценки научной деятельности и механизм продвижения научных журналов**

Во всем мире одним из ключевых показателей для оценки работы отдельных исследователей и научных коллективов, влияния на развитие науки, определения качества исследований служит индекс цитирования авторов и импакт-фактор журнала (как средний показатель цитируемости его авторов). Величина индекса цитирования определяется количеством ссылок на публикацию автора в других источниках. Для корректного определения значимости научных трудов важно не только количество ссылок, но и качество самих ссылок. На статью может ссылаться авторитетное издание или популярный иллюстрированный еженедельник. Значимость таких ссылок разная. Для решения проблемы определения значимости периодического издания разработан свой индекс цитирования – импакт-фактор. В индексе цитирования заинтересованы все те, кто имеет отношение к науке и образованию: 1) Ученые с помощью индекса цитирования отслеживают текущую актуальную библиографию работ по своей тематике. 2) Чиновники, учитывая индексы цитирования, принимают решение о выделении финансовой поддержки для исследовательской деятельности отдельного ученого или научного коллектива. 3) Администраторы университетов и институтов на основании показателей цитирования и объема опубликованных работ определяют размеры финансового вознаграждения своих сотрудников. 4) Издатели научной литературы, используя импакт-факторы журналов, оценивают качество изданий, их авторитет и востребованность как научного продукта.

Федеральное агентство по науке и инновациям Министерства образования и науки РФ и Научная электронная библиотека занимаются реализацией проекта «Разработка системы статистического анализа российской науки на основе данных российского индекса научного цитирования (РИНЦ)». РИНЦ – это специализированная база данных по российским научным периодическим изданиям, создаваемая на основе индексирования библиографических описаний статей, аннотаций или рефератов, а также пристатейных ссылок цитируемой литературы. База оснащена мощной поисковой системой, способной реализовать поисковые запросы различной сложности. Благодаря этому продукту можно получать точные данные по индексу цитирования авторов и импакт-факторам журналов.

**ЖУРНАЛ «УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ ПЕТРОЗАВОДСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА» ВКЛЮЧЕН  
В РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ  
(РИНЦ) В ИЮЛЕ 2008 ГОДА.**

**ПОДПИСАТЬСЯ НА СЕРИЮ «ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ  
НАУКИ» МОЖНО ПО КАТАЛОГУ ИЗДАНИЙ ОРГАНОВ НАУЧНО-  
ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ АГЕНТСТВА «РОСПЕЧАТЬ»  
(ИНДЕКС 66093)**