

ВЕСТНИК

1(5)
2009

МАРИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научно-прикладной журнал

Издаётся с ноября 2007 года

Выходит три раза в год

СЕРИЯ «Лес. Экология. Природопользование»

Учредитель:

ГОУ ВПО «Марийский государственный технический университет»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны культурного наследия (свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-30176 от 02.11.07)

Полное или частичное воспроизведение материалов, содержащихся в настоящем издании, допускается только с письменного разрешения редакции.

Адрес редакции:

424006 Йошкар-Ола, ул. Панфилова, 17

Тел. (8362) 68-78-46, 68-63-41

Факс (8362) 41-08-72

e-mail: vestnik@marstu.net

Главный редактор **Е. М. Романов**

Главная редакционная коллегия:

Е. М. Романов, д-р с.-х. наук, профессор

(главный редактор)

В. А. Иванов, д-р физ.-мат. наук, профессор

(первый зам. гл. редактора)

А. Д. Арзамасцев, д-р экон. наук, профессор

(зам. гл. редактора)

С. А. Денисов, д-р с.-х. наук, профессор

(зам. гл. редактора)

Н. В. Рябова, д-р физ.-мат. наук, профессор

(зам. гл. редактора)

А. Н. Леухин, д-р физ.-мат. наук, профессор

(отв. секретарь)

Редакционная коллегия серии:

С. А. Денисов, д-р с.-х. наук, профессор

(зам. гл. редактора)

В. П. Бесчетнов, д-р биол. наук, профессор

(Нижний Новгород)

Р. И. Винокурова, д-р биол. наук, профессор

П. Ф. Войтко, д-р техн. наук, профессор

А. Х. Газизуллин, д-р с.-х. наук, профессор (Казань)

Ю. П. Демаков, д-р биол. наук, профессор

А. С. Исаев, академик РАН (Москва)

А. И. Писаренко, д-р с.-х. наук, профессор,

академик РАСХН (Москва)

А. Г. Поздеев, д-р техн. наук, профессор

Е. М. Романов, д-р с.-х. наук, профессор

М. Г. Салихов, д-р техн. наук, профессор

В. И. Сухих, д-р с.-х. наук, профессор (Москва)

Ю. А. Ширнин, д-р техн. наук, профессор

В. Л. Черных, д-р с.-х. наук, профессор

Редактор **Т. А. Рыбалка**

Дизайн обложки **Л. Г. Маланкина**

Компьютерная верстка

А. Ю. Желонкин

Перевод на английский язык

О. В. Филиппук

Подписано в печать 30.03.09.

Формат 60×84 ¹/₈. Бумага офсетная.

Усл. п. л. 11,6. Уч.-изд. л. 8,9.

Заказ № 63/08. Тираж 500 экз.

Марийский государственный

технический университет

424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Отпечатано с готового оригинал-макета

в ООО «Реклайн»

424007 Йошкар-Ола,

ул. Машиностроителей, 117

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

Слово к читателям

3 *A word to the readers*

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

FORESTRY

Ю. П. Демаков, А. Е. Смыков, С. А. Денисов. Структура и динамика березняков Республики Марий Эл

Yu. P. Demakov, A. Ye. Smykhov, S. A. Denissov. Structure and dynamics of birch forests in Mari El

К. К. Калинин. Особенности искусственного лесовосстановления в сосновых насаждениях на крупных гарях Среднего Заволжья

5
K. K. Kalinin. Artificial reforestation peculiarities of pine plantations on major post-fire areas of Sredneye Zavolzhye region

В. Л. Черных, А. В. Попова, Н. Г. Киселева. Таблицы сумм площадей сечений, видовых высот и запасов для древостоев сосны искусственного происхождения северо-восточной части Республики Марий Эл

19
V. L. Chernykh, A. V. Popova, N. G. Kiselyova. Tables of cross-section area sums, form heights and stock volume for artificial pine of north-eastern part of Mari El

33

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

FORESTRY TECHNOLOGIES AND MACHINES

М. Ю. Смирнов, И. Р. Бакулина. Моделирование работы погрузочно-транспортного звена лесовозных автопоездов

M. Yu. Smirnov, I. R. Buckoulina. Modeling of work of a loading-transportation Unit of a log truck

В. В. Савельев. Методика и математические модели определения стоимости строительства лесовозных автодорог

41
V. V. Savelyev. Methodology and mathematic models for defining the cost of timber logging roads construction

В. П. Сапцин. Условия перевозки лесных грузов в камере транспортного наклонного судоподъёмника

52
V. P. Saptsin. Conditions for forest loads transportation in the compartment of a transport inclined plane

59

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

PROBLEMS IN ECOLOGY AND RATIONAL NATURE EXPLOITATION

О. Л. Воскресенская. Динамика ростовых процессов и накопление тяжелых металлов в онтогенезе подорожника большого в условиях антропогенного загрязнения

O. L. Voskresenskaya. Dynamics of growth and accumulation of heavy metals in greater plantain ontogeny in anthropogenic pollution environment

Р. И. Винокурова, И. Ю. Трошкова, А. И. Винокуров. Оценка биоиндикационных свойств бетулина и суберина в бересте березы повислой

71
R. I. Vinokourova, I. Yu. Troshkova, A. I. Vinokourov. Assessment of bioindicational features of betulin and suberin in birchbark of weeping birch

81

А. Н. Фадеев, О. А. Жулёва. Методика оценки способности лесных насаждений к депонированию углерода

A. N. Fadeyev, O. A. Zhgulyova. The method of an estimation of wood plantations ability to carbon binding

88

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

DATES. EVENTS. COMMENTS

П. Ф. Войтко, А. В. Козлов. К 125-летию юбилею Андрея Андреевича Труфанова

P. F. Voitko, A. V. Kozlov. To 125th anniversary of Andrey Andreyevich Troufanov

Е. М. Романов, П. Ф. Войтко, В. Я. Полянин, Ю. А. Ширнин. К 90-летию со дня рождения Юрия Яковлевича Дмитриева

93
Ye. M. Romanov, P. F. Voitko, V. Ya. Polyanin, Yu. A. Shirnin. To 90th anniversary of Yuriy Yakovlevich Dmitriyev

96

Информация для авторов

99 *Information for the authors*

Слово к читателям

Мы продолжаем публикацию материалов исследований лесоводов, экологов, технологов лесопромышленных производств и автодорожников.

Динамика лесного фонда, с точки зрения изучения процессов накопления спелой древесины, закономерностей смены пород на больших территориях, чему посвящена в этом номере статья Ю. П. Демакова и др., позволяет выявить не только общие тенденции смены, но и определить ключевые точки в управлении лесным фондом. Так, анализ структуры и динамики березовых лесов Республики Марий Эл за период с 1953 по 2007 годы позволил выяснить, что увеличение доли березняков в лесозаготовительном фонде не имеет экологически и экономически отрицательных последствий.

Другое дело, когда быстрая смена в результате пожаров на березу и осину пониженного класса бонитета происходит на бедных песчаных почвах, занятых сосновыми лесами. Крупные гари в Среднем лесном Заволжье породили проблему восстановления сосновых лесов. Создание лесных культур на больших площадях в короткий срок позволило практически решить её. Однако успешность лесовосстановления зависела от многих факторов как природного, так и технологического характера. Особенности искусственного лесовосстановления в сосновых насаждениях на крупных гарях Среднего Заволжья анализирует в своей статье К. К. Калинин. Рекомендации, данные автором, могут помочь лесоводам в будущем избежать ошибок прошлого.

Сегодня доля лесных культур в лесном фонде быстро растёт. При инвентаризации лесных культур, возраст которых в настоящее время достаточно высок, часто возникают несоответствия между таксационными показателями древостоя и применяемыми таблицами запасов, сумм площадей сечений. Все это требует разработки новых таксационных нормативов для искусственных сосновых насаждений, чему и посвящена работа В. Л. Черных, А. В. Поповой, Н. Г. Киселевой.

Заготовка выращенного спелого леса не может быть обеспечена без путей транспорта и самого транспорта. В рубрике «Технологии и машины лесного дела» представлены работы по вопросам эффективной организации и технологии транспортировки заготовленного леса. Так, М. Ю. Смирнов и И. Р. Бакулина предлагают информационно-логическую и математическую модели совместного функционирования автопоездов с гидроманипулятором и без него.

Математические модели и программы определения стоимости строительства лесовозных автомобильных дорог в своей работе предлагает В. В. Савельев. Практическое значение его работы направлено на обеспечение эффективности вложения средств в строительство лесных дорог.

Водный транспорт леса как эффективный способ перевозок сталкивается с рядом трудностей при переходе через гидроузлы на крупных реках. В. П. Сапцын на основании исследований и результатов работ на Красноярской ГЭС

анализирует условия перевозки лесных грузов в камере транспортного наклонного судоподъёмника.

Рубрика «Проблемы экологии и рационального природопользования» продолжает тему депонирования углерода растительностью. А. Н. Фадеев, О. А. Жгулёва предлагают методику оценки способности лесных насаждений к связыванию углерода. Изложенная методика базируется на получении нормализованных кривых моделированием запасов насаждений. Продолжена тема накопления тяжёлых металлов (свинца, кадмия, цинка и меди) в растениях (О. Л. Воскресенская). Оценку биоиндикационных свойств бетулина и суберина в бересте березы повислой дают Р. И. Винокурова, И. Ю. Трошкова, А. И. Винокуров.

Редакция журнала сообщает своим читателям, что 2–5 июня 2009 года в МарГТУ состоится конференция по проблеме международного сотрудничества в лесном секторе (в рамках международного проекта IB_JEP-26038-2005 Темпус «Тренинг, расширение международного сотрудничества и развитие потенциала для устойчивого лесопользования в Поволжье»), которая соберет ученых и производителей России и Европы. Предполагается обсудить последние тенденции в образовании, научных исследованиях и лесохозяйственной практике в Европе и России в условиях Глобальной экономики. Спонсорами выступают: Европейская комиссия, IUFRO, Европейский институт леса, МарГТУ, Центр устойчивого управления лесами МарГТУ, Министерство лесного хозяйства Республики Марий Эл.

Во время конференции будет проведена работа четырех секций, на которых пройдет обсуждение продолженного и дистанционного обучения (Mrs. Ella Kainulainen, проф. В.Г. Самойленко), Фундаментальных исследований в области современного лесоводства и экологии в условиях Изменения Климата (Prof. S. Wagner, Dr. D. Karamanolis, проф. С. А. Денисов, проф. Э. А. Курбанов), инноваций в научно-практическом сотрудничестве в области городских лесов (Dr. C. Konijnendijk, проф. В. А. Закамский), оценки и маркетинга лесных услуг (Prof. A. Pitterle, Prof. D. Pettenella, проф. Л. М. Чернякевич).

Вся информация представлена по адресу: csfm.marstu.net, по организационным вопросам: Эльдар Аликрамович Курбанов eldar@marstu.net или ekurbanov@mail.ru Тел. (8362) 686873 Факс (8362) 410872

Редколлегия

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630*228:582.632.1 (470.343)

Ю. П. Демаков, А. Е. Смыков, С. А. Денисов

СТРУКТУРА И ДИНАМИКА БЕРЕЗНЯКОВ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ

Приведены данные анализа пространственного распределения березняков по территории Республики Марий в настоящее время, а также динамики их площади и запасов стволовой древесины за период с 1953 по 2007 гг. как в целом, так и по группам возраста, приведены математические зависимости и даны предложения по совершенствованию лесопользования.

Ключевые слова: лесной фонд, березняки, динамика площадей и запасов, продуктивность.

Введение. В лесном фонде Марий Эл важное место занимают березняки, на долю которых приходится 36% лесопокрытой площади. Они активно используются в республике со второй половины прошлого века. Сколько-нибудь точных сведений об учете березовых лесов в лесном фонде до 40-х годов прошлого века мы не находим, за исключением общих площадей мелколиственных лесов. В глубоком анализе лесного фонда республики за период с 1927 по 1973 год [1] показано, что в 1927 году их насчитывалось 15,9% от площади всего лесного фонда. Эта величина возросла до 33,0% уже к 1945 году. Выделить отдельно доли березовых и осиновых лесов в этой общей величине можно лишь приблизительно. Если в тот период времени мелколиственные считались сорными породами, то начиная с 60-х годов отношение к ним начало меняться.

В настоящее время, спустя 60 лет, изменившиеся технологии переработки и применения древесины вызвали значительное увеличение спроса на деловую березовую древесину. Она находит широкое применение. В последнее время резко увеличился спрос на нее и уже не соответствует в полной мере природному ресурсному потенциалу березняков республики. В связи с этим перед работниками лесного хозяйства и учеными встает вопрос об оптимизации использования березняков и повышении их запасов. Вопросам оптимизации лесопользования и обоснования нормы изъятия лесных ресурсов посвящено немало работ [2–6]. Однако единого мнения среди исследователей на эту проблему пока не отмечается, что свидетельствует о различии методологических подходов к её решению. Сказывается и недостаток фактического материала для глубокой проработки проблемы. Регулирование размера использования ресурсов леса для обеспечения их неистощительности и удовлетворения потребностей общества должно опираться, прежде всего, на глубокий анализ процесса изменения лесного фонда, предусматривающего использование методов

математической статистики. Данному вопросу, имеющему большое теоретическое и прикладное значение, посвящено пока небольшое число публикаций [7, 8], отражающих лишь внешнюю сторону динамики состояния лесного фонда, т.е. феноменологию, но не вскрывающих в полной мере её причин, которые для каждого региона России могут быть сугубо специфичными.

Цель работы заключается в анализе динамики за последние 55 лет основных параметров состояния березняков Марий Эл и разработке предложений по их рациональному использованию.

Исходным материалом для анализа служили данные Государственного учета лесного фонда за период с 1953 по 2007 гг., состояние которого отражали такие показатели, как площадь насаждений, общий и средний запас стволовой древесины в них в целом и по классам возраста. Оценку пространственного распределения березняков по территории проводили на основе выделенных нами [9–11] бассейновых территориальных систем (БТС). Для анализа возрастной структуры древостоев использовали величины их среднего возраста и индекса выравненности, вычисляемого по формуле

$$J = -\sum_{i=1}^k (p_i \cdot \ln p_i) / \ln k ,$$

где k – число классов возраста, p_i – доля площади древостоев i -го класса возраста относительно общей площади насаждений конкретной породы. Величина этого показателя может теоретически изменяться от 0 до 1. Чем ближе фактические значения индекса к единице, тем более выровнена возрастная структура древостоев в момент её оценки, т.е. площади насаждений разных классов возраста близки между собой по величине.

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ материалов лесоустройства показал, что березняки встречаются практически во всех БТС, однако их доля варьирует в них от 0,8 до 74,8% (рис. 1). Наиболее распространены березняки в Приветлужье (бассейны рек Юровка, Кума, Аржеваж), Предволжье (р.Юнга, Сундырь), вдоль р.Юшут, верховьях Рутки, Большого Кундыша, Большой и Малой Кокшаги (рис. 2). По доле березняков в лесфонде БТС на территории Марий Эл можно выделить 17 разобщенных страт. Доля березняков в лесном фонде БТС находится в обратной зависимости от доли лесных культур ($r = -0,57$).

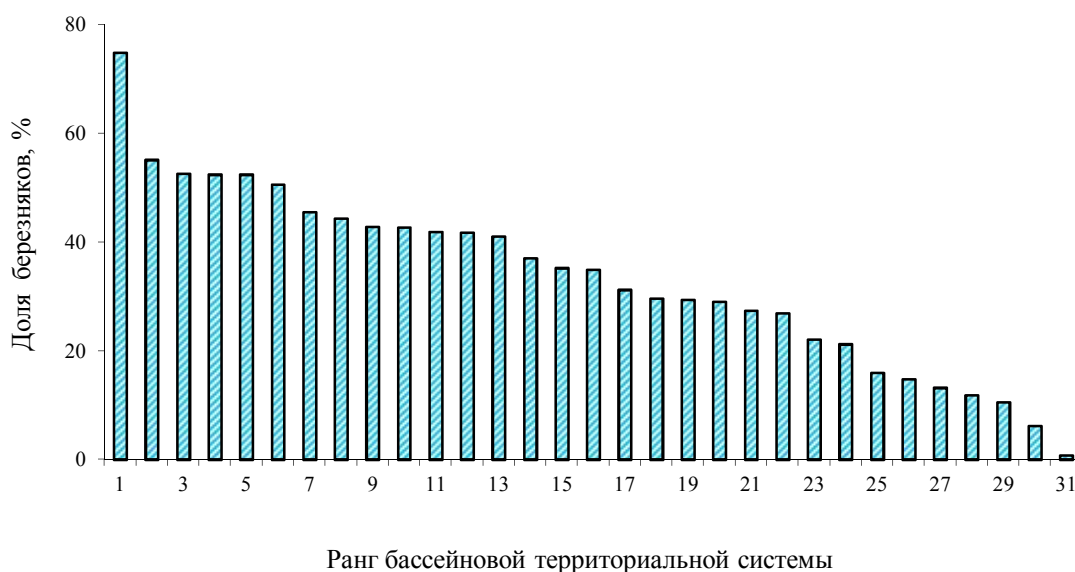


Рис. 1. Ранговое распределение БТС по доле в них березняков



Рис. 2. Пространственное распределение доли (%) березняков в Марий Эл:
1 – Приветлужье; 2 – Предволжье; 3 – р. Большой Кундыш; 4 – р. Большая Кокшага;
5 – р. Юшут; 6 – р. Рутка; 7 – р. Малая Кокшага

Важным показателем состояния насаждений является их потенциальная производительность, которую лучше всего отражает класс бонитета древостоя. Березняки Марий Эл, как показал анализ исходных данных, характеризуются высокой производительностью: средний класс их бонитета составляет 1,60. Наиболее представлены в лесном фонде республики древостои I–II классов бонитета (рис. 3). Класс бонитета отражает потенциально возможную производительность насаждения, которая не всегда реализуется ими в полной мере. Фактическую же производительность насаждений характеризует их полнота, которая варьирует в довольно больших пределах (рис. 4). Наиболее распространены березовые насаждения полнотой 0,7...0,8. Средняя полнота составляет 0,74. Следует отметить, что березняки по потенциальной и фактической производительности превосходят насаждения всех других пород республики. Это обусловлено сравнительно слабым хозяйственным воздействием на них в виде рубок, а также быстротой роста березы.

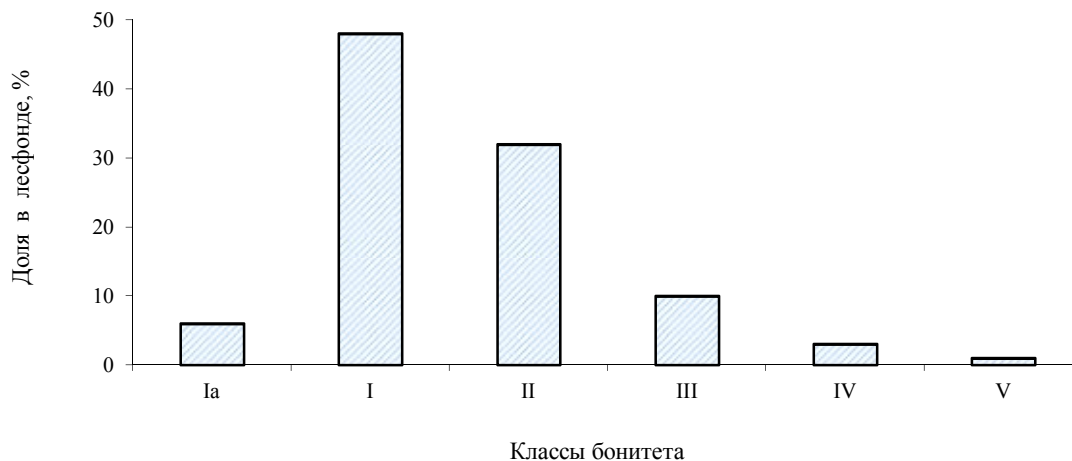


Рис. 3. Распределение березняков Марий Эл по классам бонитета



Рис. 4. Распределение березняков Марий Эл по их относительной полноте

При планировании лесохозяйственной деятельности необходимо располагать сведениями не только о рассмотренных выше показателях состояния лесного фонда, но и о возрастной структуре древостоев. Анализ её показал, что возрастная структура березняков Марий Эл крайне неровная (рис. 5). Поэтому в ближайшие 50 лет не может быть обеспечена стабильность лесопользования в березняках. Наиболее представлены в лесном фонде средневозрастные древостои (30...40 лет), которые занимают сейчас 45,6% площади. Доля приспевающих и спелых березняков составляет 14,0 и 12,1% соответственно, что свидетельствует об истощенности их лесосечного фонда.

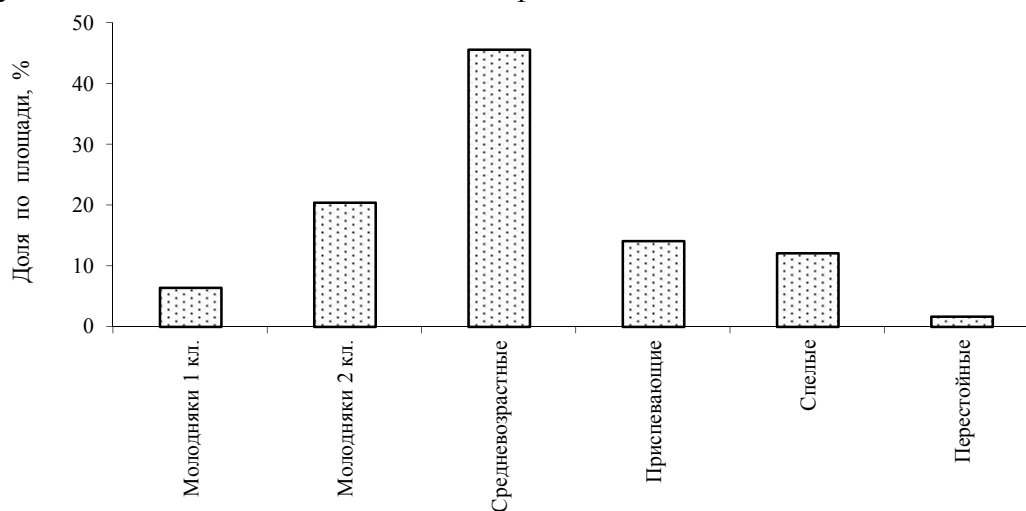


Рис. 5. Распределение березняков Марий Эл по группам возраста

Характер изменения доли площади древостоев каждой возрастной группы, как показал анализ, сугубо специфичен (рис. 6). Так, доля молодняков I класса возраста варьировала за последние полвека от 5 до 28,5% (наименьшей она была в 1998 году, а наибольшей – в период с 1978 по 1993 гг.). Доля средневозрастных древостоев, которая всегда была доминирующей, изменялась от 31,6 до 54,7%. Доля спелых древостоев, с 27% в 1953 году, увеличилась в настоящее время до 12,1%, а перестойных уменьшилась с 12,2 до 1,6%. Средний возраст древостоев изменялся в очень небольших пределах: от 28 до 38 лет (рис. 7). Наиболее молодыми березняки были в 1983 году, а наиболее старыми – в 1966 и 2007 гг. Возрастная структура березняков до 1972 года приближалась к нормальной (индекс выравниваемости составлял 0,89–0,92), при которой обеспечивается наиболее эффективный режим лесопользования. Пожары 1972 года привели к тому, что индекс выравниваемости возрастной структуры древостоев резко снизился до 0,75, а с 1978 года стабилизировался на отметках 0,75–0,80.

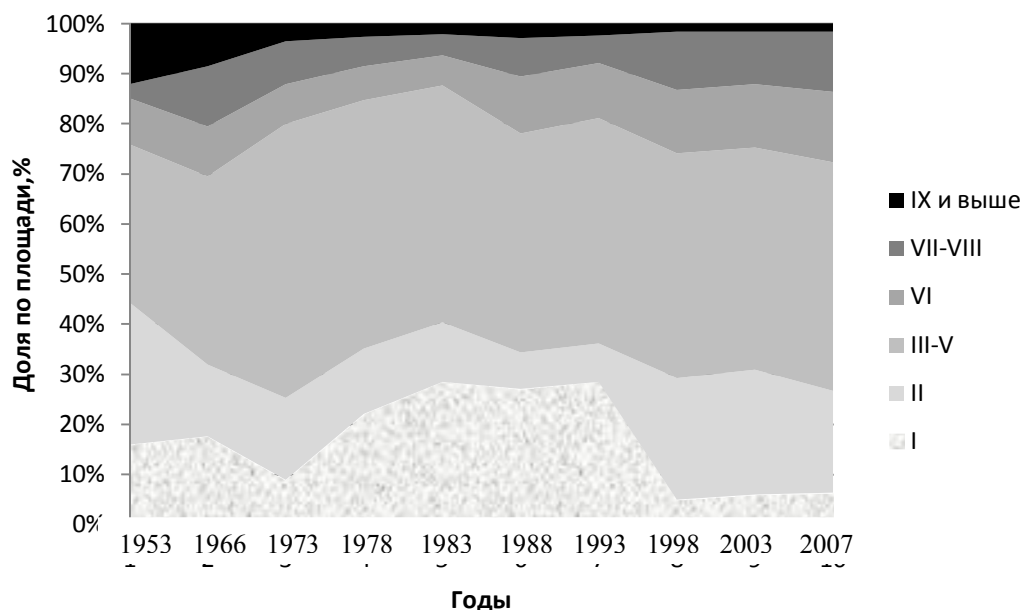


Рис. 6. Динамика доли березняков Марий Эл по классам возраста

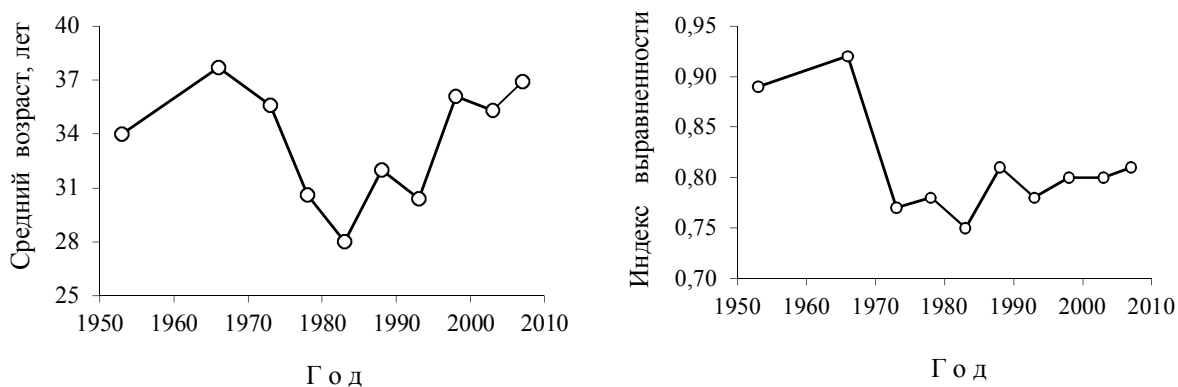


Рис. 7. Динамика среднего возраста и индекса выравненности возрастной структуры березняков Республики Марий Эл

Не оставалась постоянной в последние полвека и площадь березняков (табл. 1, рис. 8). Наиболее значительно изменялась площадь молодняков I класса возраста и спелых древостоев: площадь первых из них стала возрастать после пожаров 1972 года, а вторых в это время резко снизилась, начав увеличиваться лишь с 1988 года при переходе молодняков во II класс возраста. Площадь перестойных березняков до 1972 снижалась, а затем стабилизировалась на отметках 6...9 тыс. га, определяемых как экологическими, так и экономическими причинами. Общая площадь березняков республики за период с 1953 по 2007 годы увеличилась в 1,81 раза (на 177,8 тыс. га), а общий запас стволовой древесины – в 3,69 раза (на 41,22 млн. м³).

Наиболее схожи между собой ряды динамики площади средневозрастных березняков и древостоев в целом (табл. 2), поскольку средневозрастные древостои преобладают. К ним ближе всего примыкают ряды динамики показателя приспевающих и спелых древостоев, а также молодняков II класса возраста. В отдельный кластер вошли ряды динамики площади перестойных березняков и молодняков I класса возраста (рис. 9), коэффициент корреляции между которыми составляет всего 0,12. В динамике площадей в березняках всех классов возраста четко проявляется волновая компонента, причина возникновения которой – большая инерционность системы [12], неспособной быстро реагировать на происходящие нарушения и долго восстанавливающей свое состояние.

Т а б л и ц а 1

Динамика основных параметров березовых лесов Марий Эл за последние 50 лет

Год	Значения параметров по группам и классам возраста						
	молодняки		средневозрастные	приспевающие	спелые	перестой- ные	В целом
	I	II	III - V	VI	VII - VIII	IX и выше	
Площадь, тыс. га							
1953	35,1	62,7	69,7	20,3	6,0	26,8	220,6
1966	48,3	39,4	102,8	27,3	33,2	23,3	274,3
1973	22,4	41,1	137,0	19,8	21,5	8,9	250,7
1978	68,8	40,4	154,2	21,2	18,3	8,2	311,1
1983	92,6	38,7	154,2	19,7	13,5	7,1	325,8
1988	95,2	26,0	153,8	40,3	26,9	10,3	352,5
1993	95,9	25,8	151,6	36,8	18,5	8,3	336,9
1998	19,4	94,1	174,0	49,1	44,8	6,4	387,8
2003	22,4	93,8	166,9	47,7	39,8	5,9	376,5
2007	25,2	81,1	181,7	56,0	48,0	6,4	398,4
Общий запас стволовой древесины, млн. м ³							
1953	0,36	2,30	5,21	2,48	0,84	4,15	15,34
1966	0,36	1,77	11,19	4,13	5,43	3,78	26,66
1973	0,37	2,20	20,76	3,97	4,14	1,90	33,34
1978	0,79	2,23	23,68	4,28	3,59	1,55	36,12
1983	1,06	2,11	23,55	3,95	2,49	1,29	34,45
1988	1,61	1,48	23,45	8,76	5,59	1,90	42,79
1993	1,60	1,47	23,09	8,02	3,93	1,60	39,71
1998	0,35	5,30	28,35	10,74	9,98	1,17	55,89
2003	0,37	5,27	26,88	10,38	8,71	1,07	52,68
2007	0,42	4,69	28,41	11,83	10,10	1,11	56,56
Средний запас стволовой древесины, м ³ /га							
1953	10,3	36,7	74,7	122,2	140,0	154,9	69,5
1966	7,5	44,9	108,9	151,3	163,6	162,2	97,2
1973	16,5	53,5	151,5	200,5	192,6	213,5	133,0
1978	11,5	55,2	153,6	201,9	196,2	189,0	116,1
1983	11,4	54,5	152,7	200,5	184,4	181,7	105,7
1988	16,9	56,9	152,5	217,4	207,8	184,5	121,4
1993	16,7	57,0	152,3	217,9	212,4	192,8	117,9
1998	18,0	56,3	162,9	218,7	222,8	182,8	144,1
2003	16,5	56,2	161,1	217,6	218,8	181,4	139,9
2007	16,7	57,8	156,4	211,3	210,4	173,4	142,0

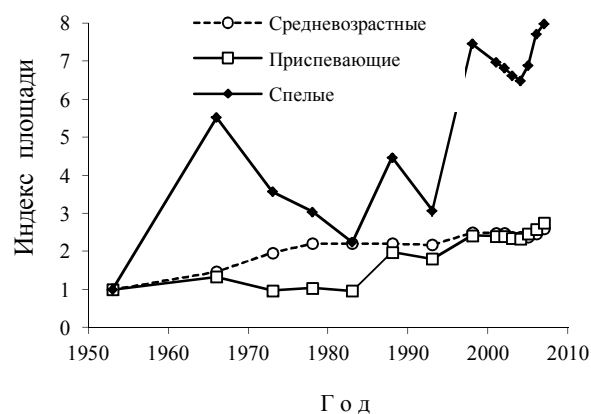
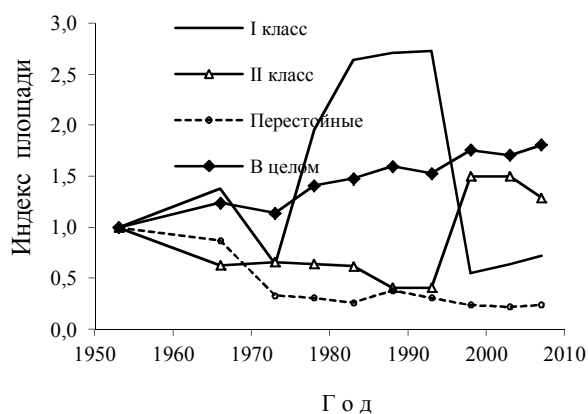


Рис. 8. Динамика площади березняков относительно уровня 1953 года

Т а б л и ц а 2

Матрица коэффициентов корреляции рядов динамики площади березняков разных классов возраста

Класс возраста	Значения коэффициента корреляции между классами возраста						
	I	II	III–V	VI	VII–VIII	IX и выше	В целом
I	1,00						
II	-0,84	1,00					
III–V	-0,18	0,47	1,00				
VI	-0,48	0,74	0,72	1,00			
VII–VIII	-0,63	0,74	0,70	0,90	1,00		
IX и выше	0,12	-0,37	-0,96	-0,56	-0,52	1,00	
В целом	-0,24	0,62	0,91	0,90	0,81	-0,79	1,00

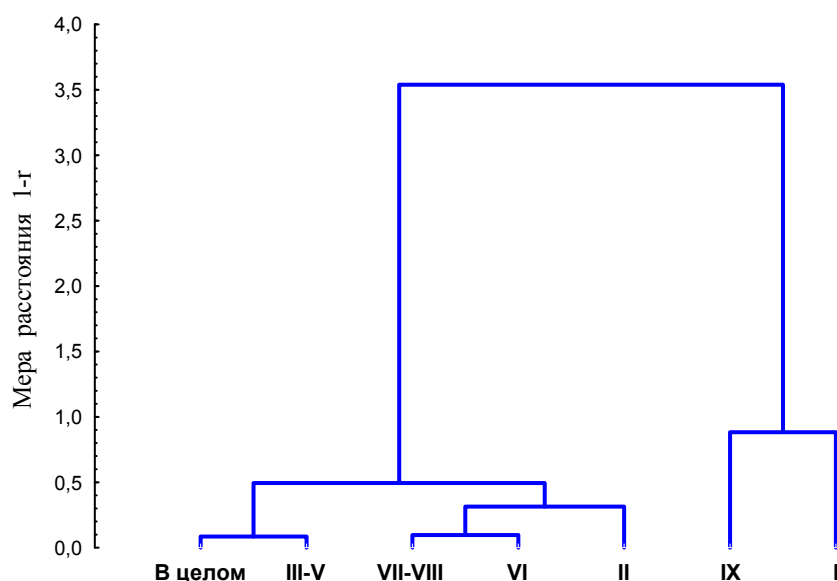


Рис. 9. Дендрограмма сходства рядов динамики площади березняков разных классов возраста, построенная способом Варда по матрице коэффициентов корреляции

Каковы же причины увеличения площади березняков в республике? Их, по нашему мнению, несколько. Основной причиной является, несомненно, хозяйственная деятельность человека, проводящего в коренных сосновых и еловых формациях рубки, после которых часто происходит смена пород. Действия лесоводов по её предотвращению в виде создания хвойных культур и проведения рубок ухода в молодняках фактически являются недостаточно эффективными. Это подтверждается публикациями о состоянии культур в регионах [13] и в Российской Федерации [14]. Вторым по значимости фактором являются пожары, повреждающие коренные леса республики и также вызывающие смену пород. Большое влияние оказывают и периодически возникающие засухи, приводящие к гибели ельники. Роль естественных факторов, негативно воздействующих на березняки республики, крайне мала: в них отмечаются пожары только в исключительно засушливые годы (например, 1972 г.), редки массовые размножения фитофагов. Они также довольно устойчивы к колебаниям климата. В ряде случаев в них происходят лишь ветровалы, площади которых зависят во многом от погодных условий. Расчеты показали, что площадь березняков республики (Y , тыс. га) прямо пропорциональна площади сосняков (X , тыс. га) и обратно пропорциональна площади ельников (Z , тыс. га). Эту зависимость аппроксимирует уравнение $Y = 10,23 \cdot X^{1,110} \cdot Z^{-0,634}$ ($R^2 = 0,82$), показывающее, что увеличение площади березняков и сосняков происходит за счет снижения площади ельников. Сходная картина

отмечена в Подмоскowie [15], что позволяет сделать вывод об общности процессов динамики лесов в центре европейской части России.

За последние полвека изменялись не только площадь и возрастная структура березняков, но и их производительность (рис. 10). Запас стволовой древесины в древостоях I класса возраста варьировал в это время от 7,5 до 18 м³/га, II – от 33,7 до 58, III-V – от 75 до 163, приспевающих – от 122 до 218, спелых – от 140 до 223, перестойных – от 155 до 213 м³/га. Характер изменения этого таксационного параметра во времени у древостоев каждого класса возраста был сугубо индивидуальным, однако общей чертой является тенденция к возрастанию значений по сравнению с отметками 1953 года. Средний запас березняков за последние полвека повысился в целом на 72 м³/га (в 2 раза). Это свидетельствует о массовом «выходе» березняков на богатые и относительно богатые почвы бывших еловых древостоев в результате смены пород. Падение средних запасов в молодняках I класса возраста в конце 70-х и начале 80-х является, вероятнее всего, результатом заселения березой площадей сосновых гарей на песчаных почвах и последующей их замены сосной в ходе естественного вытеснения березы в условиях свежих боров [16], а также реконструкции молодняков путем посадки сосны.

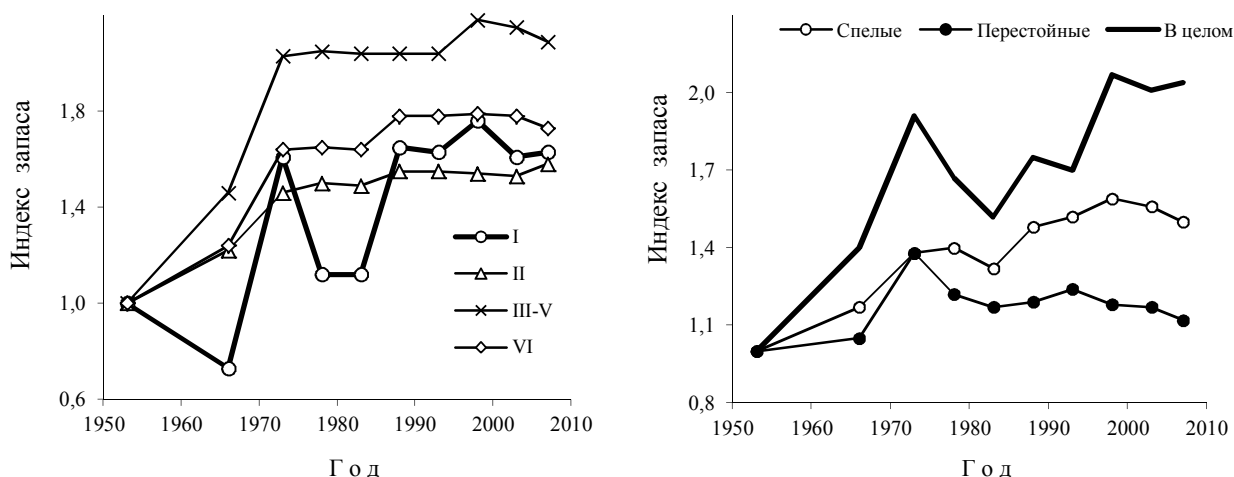


Рис. 10. Динамика среднего запаса березняков относительно уровня 1953 года

Наиболее схожей между собой оказалась динамика показателя средневозрастных и приспевающих древостоев, а также молодняков II класса возраста, коэффициент корреляции между рядами значений которых составил 0,97–0,98 (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Матрица коэффициентов корреляции рядов динамики среднего запаса березняков разных классов возраста

Класс возраста	Значения коэффициента корреляции между классами возраста						
	I	II	III–V	VI	VII–VIII	IX и выше	В целом
I	1,00						
II	0,75	1,00					
III–V	0,75	0,97	1,00				
VI	0,82	0,98	0,98	1,00			
VII–VIII	0,86	0,92	0,94	0,96	1,00		
IX и выше	0,46	0,55	0,60	0,58	0,43	1,00	
В целом	0,84	0,86	0,90	0,88	0,94	0,43	1,00

Средний запас древостоя изменяется по классам возраста нелинейно с максимумом, приходящимся практически во все периоды учета, исключая 1953 и 1973 гг., на спелые березняки (рис. 12); в 1978 году максимум пришелся даже на средневозрастные древостои.

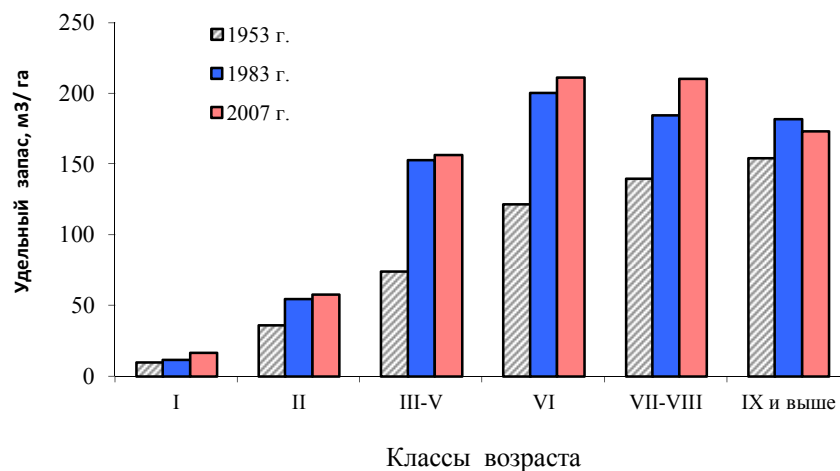


Рис. 12. Изменение среднего запаса березняков Марий Эл по классам возраста

Средний запас древесины в перестойных березняках был всегда ниже. Наибольший прирост среднего запаса древостоя по абсолютной величине происходит, как показали расчеты, между молодняками II класса возраста и средневозрастными древостоями, а по относительной – между молодняками I и II класса. Прирост между приспевающими и спелыми древостоями во все периоды практически отсутствовал, а между спелыми и перестойными был даже отрицательным.

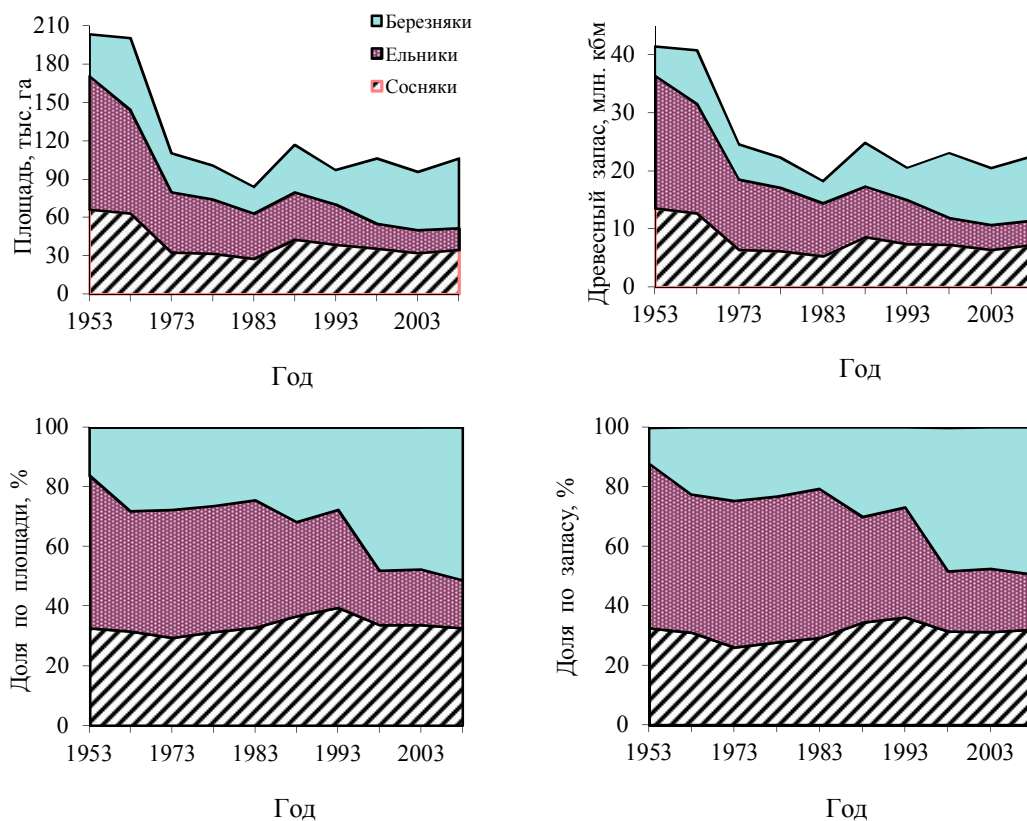


Рис. 13. Динамика структуры лесозаготовительного фонда Марий Эл по площади и запасу

Одним из важнейших показателей состояния лесов региона или лесничества и возможностей их использования является размер эксплуатационного фонда, который составляют спелые и перестойные насаждения. Эксплуатационный фонд считается нормальным, т.е. позволяющим эффективно использовать леса и вести лесозаготовки, если доля его составляет от 11 до 30% от общей площади покрытых лесом земель [2, 4]. Если его доля ниже этого порога, то он считается истощенным, а если выше – избыточным. Анализ исходного материала показал, что площадь спелых и перестойных древостоев основных лесобразующих пород Республики Марий Эл стабилизировалась с 1973 года на уровне 100...110 тыс. га (рис. 13), что составляет 10...12% от площади всех лесов. Общий запас древесины в эксплуатационном фонде этих насаждений стабилизировался на уровне 20...22 млн. м³.

Динамика структуры эксплуатационного фонда за последние полвека претерпела существенную трансформацию за счет изменения доли в ней березняков и ельников, которые за это время практически поменялись местами (рис. 14).

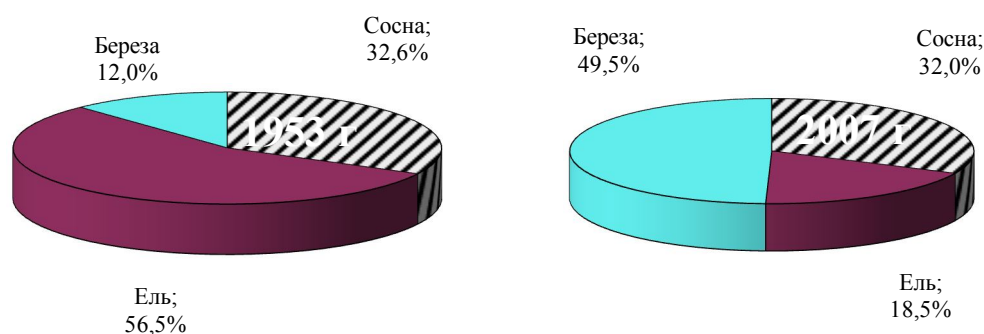


Рис. 14. Структура эксплуатационного фонда Марий Эл по запасу древесины в 1953 и 2007 годах

Динамика структуры приспевающих древостоев в лесном фонде за последние полвека также претерпела существенную трансформацию за счет увеличения доли в ней березняков преимущественно за счет ельников. Так, если в 1953 году доля ельников составляла по запасу 33,9%, то в 2007 году она снизилась до 14,8% (рис. 16). Доля березняков, наоборот, увеличилась по запасу с 13,9 до 36,9%. Доля сосняков в данной категории лесов была в среднем более высокой, чем в спелых и перестойных древостоях, варьируя от 37,7 до 48,4%.

Важный резерв древесины, который будет использоваться в ближайшем будущем и частично уже используется в настоящее время, заключен в приспевающих древостоях. Площадь и древесный запас этого потенциального эксплуатационного фонда начали неуклонно расти с 1983 года, достигнув в настоящее время 139,5 тыс. га (14,3%) и 32,1 млн. м³ (рис. 15).

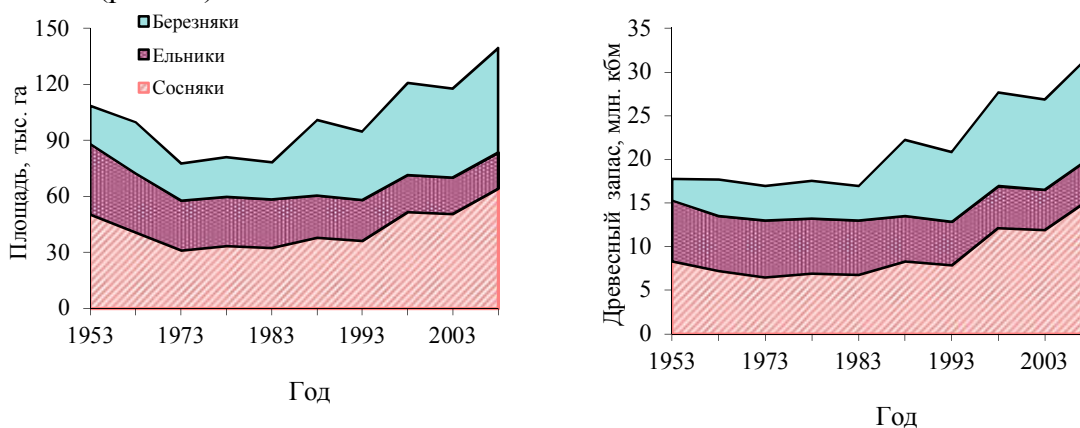


Рис. 15. Динамика площади и запасов древесины в приспевающих древостоях сосны, ели и березы

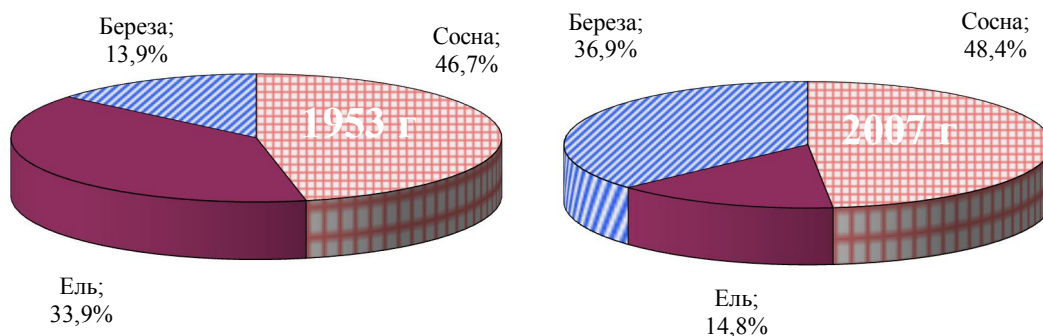


Рис. 16. Структура припевающих древостоев по запасам древесины в нем в 1953 и 2007 годах

В худшую ли сторону изменилась структура лесов в целом и эксплуатационного фонда в частности? Так ли уж нежелательно увеличение доли березняков, которые до недавнего времени в лесном хозяйстве рассматривались как малоценные или даже сорные? Что выгоднее выращивать: сосну, ель или березу? Ответить на эти вопросы однозначно довольно сложно, так как смену пород можно оценивать не только с хозяйственной (ресурсно-экономической), но экологической позиции, согласно которой смена пород – явление естественное и даже полезное, подобно севообороту в сельском хозяйстве. Примесь лиственных пород в хвойных древостоях или же их полная смена приводят к снижению горимости лесов, улучшению свойств почв и повышению их биологической активности, что положительным образом отражается в последующем на производительности и состоянии насаждений. Березняки, по сравнению с ельниками, которые они чаще всего сменяют, обладают также более высокими средообразующими и средоохранными свойствами. Смену хвойных пород, особенно ели, на березняки нельзя признать однозначно отрицательной и с ресурсно-экономических позиций, так как в современных условиях стоимость березовых специальных сортиментов (фанерный, лыжный и оружейный кряжи) гораздо выше, чем соснового пиловочника. Большой спрос имеет и декоративная древесина, получаемая из березовых капов. Береста широко используется в народных промыслах для изготовления различных поделок и сувениров, а также в лесохимии для получения дегтя и ценных биологически активных веществ: бетулина и суберина.

Т а б л и ц а 4

**Сравнительные данные о средней величине
первичной годичной продукции древостоев Марий Эл**

Древесная порода	Значение показателей первичной продукции древостоя				
	Прирост объема стволов, м ³ /га	Масса всех частей дерева, приходящаяся на 1 м ³ ствола, кг	Прирост биомассы, кг/га	Теплотворная способность биомассы	
				МДж/кг	ГДж/га
Береза	2,89	693	2002,8	19,64	39,33
Ель	2,67	672	1794,2	20,31	36,44
Сосна	2,17	639	1386,6	20,59	28,55

Примечание: биомасса дерева, её прирост и теплотворная способность приведены к абсолютно сухому веществу.

В условиях недостатка экологически чистых энергетических ресурсов увеличивается спрос на энергетическую древесину, среди которой береза занимает во многих случаях первое место. Нельзя не отметить и большой роли березняков в повышении рекреационных ресурсов, спрос на которые постоянно увеличивается, так как березняки, по сравнению с ельниками, обладают более высокими санитарно-гигиеническими и эстетическими свойствами.

Одним из важнейших показателей, позволяющим провести как экологическую, так и экономическую оценку древесной породы, является скорость образования органического вещества, или первичная продукция, выраженная либо в килограммах абсолютно сухого вещества на 1 га в год, либо в ГДж·га⁻¹·год⁻¹. Чем выше величина первичной продукции, тем эффективнее используют растения солнечную энергию, тем активнее участвуют они в биосферных процессах. Энергетический эквивалент первичной продукции древесных растений позволяет проводить сравнение её с другими энергоносителями по трудозатратам. Проведенные нами расчеты показали безусловное преимущество березняков перед хвойными в условиях Марий Эл, где они производят гораздо больше первичной продукции, чем ельники, и особенно сосняки (табл. 4).

Поскольку исправить возрастную структуру древостоев регулированием размера лесопользования, как считают исследователи [6], невозможно, то наиболее оптимальным вариантом обеспечения стабильности лесопользования в Марий Эл является, на наш взгляд, переход от системы возрастов рубок к рубкам по технической спелости. Эта система определяет объемы рубок целевыми установками потребления [17,18], а также более широкое применение выборочных рубок с поквартальной организацией лесосечных работ [19, 20].

Выводы

1. Площадь березняков в Республике Марий Эл увеличилась за последние 50 лет в 1,81 раза (на 177,8 тыс. га), а общий запас стволовой древесины – в 3,69 раза (на 41,22 млн. м³). Наиболее значительно изменялись на данном отрезке времени доля молодняков I класса возраста, площадь которых стала возрастать после пожаров 1972 года. Площадь спелых древостоев в это время резко снизилась, начав увеличиваться лишь с 1988 года. Площадь перестойных березняков до 1972 снижалась, а затем стабилизировалась на отметках 6...9 тыс. га, определяемых как экологическими, так и экономическими причинами. Смена ельников на относительно богатых и богатых почвах на быстро растущие березняки способствовала увеличению средних запасов березовых древостоев по сравнению с 1953 годом на 72 м³/га (в 2 раза).

2. Основной причиной увеличения площади березняков и их доли в лесном фонде республики является хозяйственная деятельность человека, приводящая к смене пород. Действия лесоводов по её предотвращению в виде создания хвойных культур и проведения рубок ухода в молодняках фактически являются недостаточно эффективными. Роль естественных факторов, негативно воздействующих на березняки республики, крайне мала: в них, как правило, не отмечается пожаров и массовых размножений фитофагов, они также довольно устойчивы к колебаниям климата. В ряде случаев в них происходят лишь ветровалы.

3. Эксплуатационный фонд в березняках республики сейчас невелик и значительное его увеличение, учитывая сложившуюся возрастную структуру древостоев, может произойти лишь через 25–30 лет.

4. Динамика структуры фактического и потенциального лесоэксплуатационного фонда Марий Эл претерпела за последние 50 лет существенную трансформацию за счет изменения доли в ней березняков и ельников, которые практически поменялись местами.

5. Увеличение доли березняков в лесоэксплуатационном фонде не следует расценивать негативно, так как смена ими хвойных пород не имеет отрицательных последствий ни с экологических, ни с экономических позиций.

6. Наиболее оптимальным вариантом обеспечения стабильности лесопользования в условиях дефицита лесоэксплуатационного фонда и невыровненной возрастной структуры древостоев является переход от системы возрастов рубок к рубкам по технической спелости, которая определяется целевыми установками потребления, а также более широкое использование выборочных рубок леса с поквартальной организацией лесосечных работ.

Список литературы

1. Денисов, А. К. Леса республики и их рациональное использование / А. К. Денисов / Охрана родной природы. Под ред. А. Р. Чистякова. – Йошкар-Ола: Марийское кн. изд-во, 1977. – С.82–96.
2. Синицын, С. Г. Расчет размера лесопользования / С. Г. Синицын, Н. А. Моисеев, В. В. Загребев, Н. П. Анучин. – М.: Лесная промышленность, 1972. – 176 с.
3. Синицын, С. Г. Хозяйственное воплощение принципа непрерывного неистощительного лесопользования / С. Г. Синицын // Лесное хозяйство. – 1980. – № 1. – С. 43–47.
4. Моисеев, Н. А. Основы прогнозирования использования и воспроизводства лесных ресурсов / Н. А. Моисеев. – М.: Лесная промышленность, 1974. – 224 с.
5. Анучин, Н. П. Нормативы оценки древесных запасов (элементы теории лесоустройства) / Н. П. Анучин // Лесное хозяйство. – 1983. – № 12. – С. 32–37.
6. Дялтувас, Р. П. Формирование возрастной структуры хозсекций / Р. П. Дялтувас // Лесное хозяйство. – 1987. – № 5. – С. 42–47.
7. Бузун, В. А. Структура лесного фонда и перспективы лесопользования в Житомирской области / В. А. Бузун // ИВУЗ: Лесной журнал. – 1971. – № 4. – С. 131–133.
8. Гиряев, В. В. Динамика показателей государственного учета лесного фонда за 1966–1998 гг. / В. В. Гиряев, Ю. А. Кукуев, В. В. Страхов и др. // Лесное хозяйство. – 2000. – № 1. – С. 44–46.
9. Демаков, Ю. П. Параметры структуры лесного фонда бассейново-территориальных систем Республики Марий Эл / Ю. П. Демаков, А. Е. Смыков // Пути рационального воспроизводства, использования и охраны лесных экосистем в зоне хвойно-широколиственных лесов. – Чебоксары, 2005. – С. 100–105.
10. Демаков, Ю. П. Пространственная структура лесного фонда Республики Марий Эл / Ю. П. Демаков, С. А. Денисов, А. Е. Смыков // Вестник МарГТУ. Серия «Лес, экология, природопользование». – 2008. – №1. – С. 3–18.
11. Смыков, А. Е. Закономерности пространственно-временной динамики основных параметров лесного фонда Республики Марий Эл: Автореф. ... канд. с.-х. наук / А. Е. Смыков. – Йошкар-Ола, 2008. – 23 с.
12. Свирижев, Ю. М. Нелинейные волны, диссипативные структуры и катастрофы в экологии / Ю. М. Свирижев. – М.: Наука, 1987. – 368 с.
13. Романов, Е. М. Состояние и проблемы воспроизводства лесов России / Е. М. Романов, Н. В. Еремин, Т. В. Нуреева // Вестник МарГТУ. Серия «Лес. Экология. Природопользование», 2007. – №1. – С. 5–14.
14. Ермоленко, А. А. Ситуация с лесовосстановительными работами в субъектах Российской Федерации, проблемы и пути решения. <http://www.rosleshoz.gov.ru/media/appearance/> [В Интернете] // <http://www.rosleshoz.gov.ru/>. – ФГУП «Рослесинфорг» и компанией Метод.ру при участии Агентства «Стратег». – 25 февраль, 2009 г.
15. Абатуров, А. В. 150 лет Лосиноостровской лесной даче / А. В. Абатуров, О. В. Кочевая, А. И. Янгутков. – М.: Аслан, 1997. – 228 с.
16. Денисов, А. К. Формирование смешанных древостоев на свежих гарях / А. К. Денисов // Лесное хозяйство. – 1954. – №10. – С. 26–31.
17. Комков, В. В. Оптимизация воспроизводства лесных ресурсов / В. В. Комков, Н. А. Моисеев. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 225 с.
18. Минниханов, Р. Н. Сохранение ресурсного потенциала хвойно-широколиственных лесов Республики Татарстан на принципах непрерывного и рационального лесопользования: Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук / Р. Н. Минниханов. – Йошкар-Ола, 2001. – 26 с.
19. Маковский, Г. М. Организация территории при участковом методе ведения лесного хозяйства: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Г. М. Маковский. – Киев, 1972. – 22 с.
20. Ширнин, Ю. А. Процессы комплексного освоения лесного фонда при малообъемных лесозаготовках / Ю. А. Ширнин, К. П. Рукомойников, Е. М. Онучин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. – 195 с.

Статья поступила в редакцию 31.10.08.

Yu. P. Demakov, A. Ye. Smykhov, S. A. Denissov

STRUCTURE AND DYNAMICS OF BIRCH FORESTS IN MARI EL

Data on analysis of present birch forest spatial distribution over the territory of Mari El as well as the dynamics of the area occupied and standing crop in the period of 1953-2007 both as a whole and according to age groups are given. Mathematic dependences are presented and the ways of forest management improvement are suggested.

Key words: *forest fund, birch forests, dynamics of areas and volume stands, productive capacity.*

ДЕМАКОВ Юрий Петрович – доктор биологических наук, профессор кафедры управления природопользованием и лесозащиты МарГТУ. Область научных интересов – устойчивое управление лесами, модели в биогеоценологии, лесная энтомология. Автор более 190 публикаций, в том числе трех монографий и пяти учебных пособий.

СМЫКОВ Андрей Евгеньевич – инженер первой категории Марийской лесоустроительной экспедиции «Центрлеспроект» филиала ФГУП «Рослесинфорг», аспирант МарГТУ. Область научных интересов – лесная таксация и лесоустройство. Автор 13 публикаций.

ДЕНИСОВ Сергей Александрович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. кафедрой лесоводства МарГТУ. Область научных интересов – лесоведение и лесоводство, биология и экология леса, закономерности естественного лесовозобновления. Автор более 130 публикаций.

УДК 630х231(470.343):674.032.16

К. К. Калинин

ОСОБЕННОСТИ ИСКУССТВЕННОГО ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ В СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЯХ НА КРУПНЫХ ГАРЯХ СРЕДНЕГО ЗАВОЛЖЬЯ

Приведены количественные и качественные характеристики культур сосны на горях 1972 года в фазе приживаемости и индивидуального роста. Показано, что характер лесовосстановления после пожаров 1972 года имел свои особенности, что повлияло на успешность облесения пройденных огнем насаждений.

Ключевые слова: культуры сосны, обработка почвы, метод и способ создания, тип лесорастительных условий.

Введение. Изучение процессов искусственного лесовозобновления на горях имеет большое практическое значение, поэтому закономерен повышенный интерес исследователей к этому процессу [1–13].

Работ по искусственному лесовосстановлению на горях за пределами Среднего Заволжья немного [1,2]. М. С. Ковалевым [1] проведены исследования успешности культур сосны на горях на песчаных почвах Псковской и Новгородской областей. Им установлено, что в брусничных и вересковых типах леса показатели роста культур в первые 20 лет значительно выше соответствующих показателей культур посевом. В исследуемых типах леса им рекомендуется создание искусственных насаждений хорошо развитым посадочным материалом. Им отмечается также большая зависимость приживаемости на горях от количества и равномерности выпадающих осадков в весенне-летний период, в отдельные годы наблюдается полная гибель посевов. Опыт создания лесных культур сосны в фазе приживания в горельниках Восточного Забайкалья обстоятельно изложен В. П. Бобриневым [2]. Им рассмотрены для своего региона способы, сроки посадки и обработки почвы, ухода за лесными культурами.

Значительно больше работ по лесовосстановлению гарей имеется по Среднему Заволжью. Большие исследования по успешности создания культур сосны, правда в основном на старых горях 1921 года, проведены Г. К. Незабудкиным [3, 4]. Им первым для региона составлены типы лесных культур на горях. Значительное количество исследований проведено в культурах сосны на горях 1972 года в фазе приживаемости и индивидуального роста [5–8]. Проводилось изучение особенностей эпифитотий в сосновых культурах [9, 10].

Как видно, вопросам изучения искусственного возобновления на горях в районе исследований уделялось достаточно много внимания. Недостатком многих исследований является кратковременность наблюдений. Исследования проводились, как правило, на временных пробных площадях. Не охваченными наблюдениями оказались многие типы леса, недостаточно исследований по влиянию на состояние и рост культур способов обработки почвы и методов их создания.

Цель работы – установление особенностей искусственного восстановления сосны на крупных горях 1972 года в Среднем Заволжье в различных типах леса, при разных

способах обработки почвы и методах создания в фазе приживаемости и индивидуального роста.

Решаемые задачи: исследование влияния различных способов обработки почвы, методов создания культур, типов лесорастительных условий на количественные и качественные показатели искусственных фитоценозов.

Техника эксперимента

Рост и состояние культур сосны на гарях 1972 года изучались как в производственных культурах 1974–1975 гг., так и на опытном участке.

Опытные культуры были созданы в 1976 году на пл. 6,1 га в наиболее распространенном типе лесорастительных условий – в свежем бору (A_2) на свежих песчаных слабо-подзолистых почвах с уровнем грунтовых вод около 2 м. Применялись разные способы обработки почвы (сплошная, бороздная, расчистка без обработки) и методы создания (посадка, посев). Раньше здесь находился 30–40-летний сосновый древостой. Осенью 1975 года участок был расчищен: с помощью корчевателя Д-513А поваленные деревья собраны в валы. Культуры заложены в следующих вариантах (каждый в двух повторностях):

I – посадка 2-летних сеянцев сосны сажалкой СБН-1 по сплошь обработанной почве с размещением 1,5x0,75 м;

II – посадка 2-летних сеянцев сосны сажалкой СБН-1 по дну плужных борозд ПКЛ-70 с размещением 1,5x0,75 м;

III – посадка 2-летних сеянцев сосны сажалкой СБН-1 без обработки почвы по расчищенной площади с размещением 1,5x0,75 м;

IV – механизированный посев сосны по дну плужных борозд через 1,5...1,6 м высевающим аппаратом на плуге ПКЛ-70;

V – механизированный посев сосны высевающим аппаратом в агрегате с покровосдирателем ПДН-1 с размещением посевных борозд (полос) через 1,5...1,6 м.

Посев сосны осуществлялся 23–24 апреля, посадка – с 27 апреля по 5 мая 1976 года. Использовались семена сосны III класса всхожести с нормой расхода 2 кг на 1 га.

При посадке корневая система сеянцев обмакивалась в торфяную жижу с гексахлораном.

Погодные условия как во время создания культур, так и позднее благоприятствовали укоренению и росту всходов и саженцев. В конце апреля – начале мая 1976 года стало прохладно, осадков в мае и июне выпало больше по отношению к среднегодовым соответственно на 14 и 23 %.

Агротехнических уходов и дополнений, кроме как в период посадки, на опытном участке культур не проводилось.

Лесные культуры на гарях в регионе в основном создавались там, где не ожидалось естественного возобновления сосной. Это были сухие, свежие, реже влажные трофотопы.

Технология производства культур зависела, в основном, от возраста погибшего насаждения. На площадях, вышедших из-под товарных горельников, культуры сосны создавались посадкой сеянцев по бороздной обработке почвы плугом ПКЛ-70 механизированной или ручной посадкой. По данной технологии при размещении сеянцев 2,2...4,0 x 0,6...0,7 м обеспечивалась густота лесных культур в пределах 4,2...7,6 тыс. шт. на га. В данных условиях с аналогичным размещением сеянцев иногда проводилась механизированная посадка без предварительной обработки почвы, а также ручная посадка сосны по маркированным полосам, проложенным с помощью якорных покровосдирателей или другими простейшими способами.

При гибели молодых и средневозрастных древостоев со средним диаметром до 14 см широкое распространение получил способ их расчистки с помощью «цилиндра» (бревна) на тяге двух тракторов Т-100. Позднее «цилиндр» был заменен тросом [16]. Сгребание в валы поваленных деревьев с расстоянием между валами в 30...40 м производилось корче-

вателями Д-608 и Д-513А. На большинстве таких площадей проводилась механизированная посадка сеянцев сосны без дальнейшей предварительной обработки почвы с густотой культур 9...11 тыс. шт. на 1 га при размещении сеянцев 1,2...1,5 x 0,75 м. Реже применялась технология создания культур сосны посадкой сеянцев по плужным бороздам, проложенным по погибшим лесным культурам или молоднякам плугом ПЛП-135 с размещением 3...4 x 0,6 м.

На площадях, зараженных личинками майского хруща, а это были в основном несомкнувшиеся лесные культуры или молодняки естественного происхождения, проводилась сплошная вспашка почвы с внесением в нее инсектицидов с последующей посадкой сеянцев. Здесь густота лесных культур доводилась до 12...14 тыс. шт. на 1 га.

В первые 2...3 года после пожара на части площадей гарей проводился механизированный посев сосны и ели по дну плужных борозд с расстоянием между ними в 2...4 м высевальным аппаратом на плуге ПКЛ-70 или в агрегате с покровосдирателем ПДН-1.

Исследования искусственного возобновления гарей 1972 года проводились в Республике Марий Эл и Нижегородской области в начальный 10-летний период после пожара на 85 пробных площадях, в том числе на стационарном опытном участке. При исследованиях использовались апробированные методики [11–15].

В фазе приживаемости (до 3-х лет) после рекогносцировочного осмотра участков культур закладывались пробные площади (учетные ряды) с наличием на них не менее 400 посевных или посадочных мест с живыми растениями. Проводился сплошной учет саженцев с подразделением на здоровые, поврежденные и усохшие с определением по возможности причин повреждения и усыхания растений. Измерялись высота и прирост не менее, чем у 100 здоровых растений. В разных местах пробной площади закладывались две учетные площадки размером 10 x 10 м для учета количества естественного возобновления с подразделением по породам, возрасту и высоте. Живой напочвенный покров учитывался глазомерно на всем участке. Определялись проективное покрытие почвы травяным и моховым покровом, преобладающие виды с указанием их высоты. Степень покрытия оценивалась в долях по четырехбалльной шкале: а) покрытие отсутствует; б) слабое – составляет 0,1...0,3 поверхности почвы; в) среднее – 0,4...0,6 поверхности и г) сильное – 0,7...1,0 поверхности почвы. На опытных участках живой напочвенный покров учитывался более детально на учетных площадках.

В фазе индивидуального роста сосны (4...10 лет) пробные площади включали 2...3 ряда деревьев с примыканием 2...3 междурядий с наличием не менее 200...250 деревьев главной породы. Проводился сплошной пересчет главной породы с измерением у нее стволиков по ступеням высот с указанием вида и степени повреждения. В культурах посадкой учитывалось каждое растение, в посевах измерялось одно лучшее растение в посевном месте. При обмере хвойные породы распределялись на группы по степени освещенности: 1) незатененные; 2) полузатененные и 3) затененные. Естественное возобновление лиственными и хвойными породами проводилось на учетных площадках шириной 2...5 м, закладываемых через 25...50 м поперек пробной площади. На этих же площадках определялась сомкнутость крон путем сплошного картирования. Лиственные породы подразделялись на: а) мешающие росту хвойных и б) не мешающие. У культур определялся прирост по высоте на каждом 8...10 месте не менее, чем за последние три года, а также ход роста хвойных пород с различной степенью затенения и затеняющих лиственных пород со взятием 5 модельных деревьев по каждой категории. Травяной покров учитывался по шкале Друде.

Интерпретация результатов

Рост и состояние культур сосны в фазе приживаемости

Состояние и рост производственных лесных культур, созданных посадкой 2-летними сеянцами, различно как по типам лесорастительных условий, так и по годам и технологиям их создания (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Состояние и рост культур сосны посадкой сеянцами в фазе приживаемости

ТЛУ	Категория участка	Обра-ботка почвы	Число пробн. площ.	Густота культур, тыс.шт. на 1 га	Прижива-емость, %	Распределение сосны по состоянию, %				Показатели роста, см	
						здоров.	повреж-денные	усыха-ющие	усох-шие	средняя высота	текущий годич-ный при-рост
2-летние культуры (год создания – 1974)											
А ₁	Сгорев-шие куль-туры	Сплош-ная	2	12,5	97,3	84,8	11,8	1,4	2,0	28,4±0,96	16,5±1,01
	Вырубка горельника	Борозд-ная ПКЛ- 70	2	4,6	74,7	67,4	6,5	1,8	24,3	19,6±0,49	10,5±0,49
		НСР _{0,05}			18,2					5,4	3,9
А ₂	Сгорев-шие культуры	Сплош-ная	5	11,2	93,2	78,8	10,2	2,8	8,2	28,1±0,80	16,6±0,59
	Вырубка горельника	Борозд-ная ПКЛ- 70	2	4,7	84,7	76,6	9,3	1,9	12,2	18,2±0,83	11,5±0,58
	Сгорев-шие культуры	Борозд-ная ПЛП- 135	3	5,4	81,6	77,1	12,9	3,4	6,6	21,0±0,84	11,9±0,67
	Расчистка 40-летнего насажде-ния	Без об-работки по рас-чистке	3	8,9	79,8	61,6	16,0	3,5	18,9	19,4±0,65	10,8±0,61
		НСР _{0,05}			39,8					6.2	3,2
1-летние культуры (год создания – 1975)											
А ₂	Сгорев-шие куль-туры	Сплош-ная	2	6,2	68,9	53,4	13,6	3,6	29,4	11,5±0,53	7,4±0,49
	Вырубка горельника	Борозд-ная ПКЛ-70	2	7,4	72,7	66,0	4,5	4,3	25,1	10,4±0,65	6,4±0,28
	Расчистка 40-лет-него насажде-ния	Без об-работки по рас-чистке	4	9,0	58,2	52,4	1,9	8,0	37,9	10,0±0,41	6,4±0,25
		НСР _{0,05}			48,1					3,6	2,8
А ₃	Вырубка горельника	Борозд-ная ПКЛ- 70	2	5,7	79,3	66,1	9,6	7,1	17,1	11,3±0,46	8,5±0,32

Приживаемость двухлетних посадок производства 1974 года довольно высокая, хотя в некоторых случаях и несколько ниже установленных норм (81,6...97,3 %). Хорошей приживаемости способствовали благоприятные погодные условия 1974 года. В культурах этого года наилучшие показатели приживаемости и роста как в условиях сухого, так и свежего боров имеют посадки, созданные по сплошной обработке почвы (приживаемость в среднем 97,3 %, средняя высота 28,4 см, прирост за 1975 год 16,5 см). Дисперсионный анализ показал существенные отличия значений приживаемости, средней высоты и текущего прироста культур в сухом бору по сплошной обработке почвы от величин этих же показателей при

бороздной обработке почвы. В свежем бору культуры по сплошной обработке почвы существенную разницу с другими технологиями создания имели только по показателям роста (средней высоте и текущему годовичному приросту). Не было существенных различий в показателях состояния и роста между культурами, созданных по другим технологиям (по бороздной ПКЛ- 70, без обработки по расчистке и бороздной ПЛП- 135).

Приживаемость однолетних культур сосны производства 1975 года при всех технологиях создания культур была значительно ниже по сравнению с культурами, созданными в 1974 году (средний показатель приживаемости не превышал 79,3 %), и не имела существенных различий между культурами, созданными по различной обработке почвы (сплошной, бороздной ПКЛ-70 и без обработки по расчистке). Основной причиной низкой приживаемости культур сосны явилась сухая и жаркая погода весной и малое количество осадков летом. Осадков в мае–июне выпало только 25–77 % к средним многолетним. В то же время следует отметить нарушение технологии выкопки, транспортировки и хранения (прикопки) посадочного материала, что в условиях жаркой погоды имеет большое значение при создании лесных культур.

На опытном участке, созданном в 1976 году, с благоприятными метеоусловиями приживаемость сеянцев сосны в первые два года после посадки при всех видах обработки почвы была довольно высокой, но имела значительные колебания по вариантам обработки почвы: в 1-й год – 90,2...92,2 %; во 2-й – 83,9...86,4 % (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

**Приживаемость созданных посадкой
опытных культур сосны**

Обработка почвы	Возраст культур, лет	
	1	2
Сплошная	90,4	83,9
Бороздная плугом ПКЛ-70	92,2	86,4
Без обработки по расчистке	90,2	86,4
НСР _{0,05}	6,3	8,8
F _{0,05}	19,0	19,0
Fфакт.	0,4	0,3

По данным дисперсионного анализа различия в приживаемости саженцев сосны по вариантам обработки почвы оказались несущественными.

В первый год создания культур высоты и приросты саженцев в высоту (табл. 3) не имели существенных различий по вариантам обработки почвы. На втором году, в отличие от приживаемости, высоты и годовичные приросты саженцев сосны

в варианте при сплошной обработке почвы превзошли (на 5 % уровне значимости) таковы в варианте с расчисткой, а годовичные приросты в высоту – и в варианте с бороздной обработкой почвы. Существенных различий по высоте культур сосны, созданных по сплошной обработке почвы и бороздной, не выявлено.

Т а б л и ц а 3

**Динамика основных количественных и качественных биометрических показателей
опытных культур сосны, созданных посадкой**

Обработка почвы	Высота саженцев, см $h \pm m$	Текущий годичный прирост в высоту, см $z_h^{\text{год}} \pm m$	Распределение саженцев по состоянию, %	
			здоровые	сомнительные
Однолетние				
Сплошная	10,4 ± 0,50	6,4 ± 0,30	98,0	2,0
Бороздная	10,9 ± 0,48	6,9 ± 0,29	98,0	2,0
Без обработки по расчистке	10,3±0,51	6,4 ± 0,28	98,5	1,5
двухлетние				
Сплошная	21,9±0,71	11,5 ± 0,51	97,1	2,9
Бороздная	20,5±0,50	9,2 ± 0,48	97,2	2,8
Без обработки по расчистке	19,8±0,68	9,5 ± 0,52	97,8	2,2

Данные о распределении растений по причинам усыхания в культурах сосны производства 1974–1975 гг. приведены в табл. 4. Повреждаемость энтомофитами – хрущами и долгоносиками в культурах была весьма незначительной и не превышала 5,3 %. Большой процент отпада – до 10,1...12,9 % наблюдался от некачественной посадки (глубокая или мелкая заделка, недостаточный зажим корней при ручной посадке и пр.). Значительный отпад произошел по невыясненным причинам. Грибных заболеваний на саженцах не обнаружено. Можно предположить, что усыхание саженцев произошло из-за неблагоприятных погодных условий 1975 года, а также несоблюдения правил транспортировки и хранения (прикопки) посадочного материала на лесокультурной площади.

Посевы 1974 года в условиях свежего бора имели удовлетворительные показатели (табл. 5.). Приживаемость достигала 81,0...83,5 %, количество растений на посевное место 7,4...8,3 шт. Следует отметить, что посев производился семенами III класса всхожести по ГОСТ 14161-69.

Низкая приживаемость посевов 1974 года в условиях сухого бора объясняется прежде всего сухостью почвы. Кроме того, на всех участках плужные борозды были проведены вдоль склонов и было отмечено замывание посевов песком.

Приживаемость посева 1975 года (табл. 5) была невысокой. На низкую приживаемость оказали влияние, безусловно, неблагоприятные погодные условия весны и лета этого года.

Т а б л и ц а 4

Распределение растений по причинам усыхания

Обработка почвы	ТЛУ	Гибель по видам причин, %					
		замывание песком	майский хрущ	долго- носик	некачеств. посадка	невыясн. причины	Всего
почвы							
Сплошная	A ₁	0	0	0	0,6	1,2	1,8
Бороздная	A ₁	0	5,3	0	5,0	14,0	24,3
ПКЛ- 70							
Сплошная	A ₂	0	0,1	0,1	3,3	1,9	5,4
Бороздная	A ₂	0	0	0	1,0	11,1	12,1
ПКЛ- 70							
Без обработки по расчистке	A ₂	0	3,5	0,4	10,1	4,8	18,8
1-летние культуры (год производства – 1975)							
Сплошная	A ₂	0	0	0	3,4	25,2	28,6
Бороздная	A ₂	0	0	0	12,9	4,1	17,0
ПКЛ- 70							
Без обработки по расчистке	A ₂	0,1	0	0	2,1	35,7	37,8

В большей мере хорошей приживаемости способствовали благоприятные погодные условия во время посева и в более поздний весенний и летний периоды.

Во второй и последующие годы появились дополнительные всходы за счет невзошедших семян, по этой причине приживаемость на втором и сохранность на пятом году была несколько выше, чем в первом.

Результаты по приживаемости сеянцев и их количеству в одном посевном месте лучшие при использовании ПДН-1. В частности, разница в приживаемости в 1–2-летнем возрасте составила соответственно 8,5; 12,1 %, а в количестве сеянцев в одном посевном месте соответственно – 3,7; 3,1 шт. При статистической обработке этих показателей выявлены существенные различия как в приживаемости, так и количестве сеянцев в посевном месте в

зависимости от применяемого агрегата. Более высокие показатели посева, произведенного высевальным аппаратом на ПДН-1, объясняются, на наш взгляд, лучшими условиями для прорастания семян и развития всходов на взрыхленной почве после прохода ПДН-1 по сравнению с плугом ПКЛ-70. Годичный прирост сеянцев в варианте с плугом ПКЛ-70 был несколько больше, но, как показала статистическая обработка, разница оказалась несущественной. Несколько меньшая величина размеров и приростов сеянцев в посевах, произведенных сеялкой на ПДН-1, вызвана, по-видимому, их большей загущенностью.

На обследованных нами участках лесных культур (как посадок, так и посевов) живой напочвенный покров в типе лесорастительных условий A_1-A_2 начал развиваться с первого же года их создания.

Т а б л и ц а 5

Состояние культур сосны, созданных посевом семян (по учету в 1975 году)

NN пр. пл.	Площадь участка культур, га	NN кв.	ТЛУ	Категория участка	Орудие посева	Приживаемость, %	Число растений в посевном месте, шт.	Высота растений, см
2-летние посевы (посев 1974 г.)								
5	10,7	41	A_1	Вырубка горельника	Сеялка на ПКЛ- 70	25,0	$1,33 \pm 0,03$	$2,65 \pm 0,21$
6	4,3	31	A_1	То же	То же	27,0	$1,31 \pm 0,06$	$2,86 \pm 0,16$
2	10,2	30	A_2	Вырубка горельника	Сеялка на ПКЛ- 70	81,0	$7,38 \pm 1,14$	$7,56 \pm 0,38$
4	15,0	41	A_2	То же	То же	83,5	$8,27 \pm 0,65$	$3,24 \pm 0,15$
1-летние посевы (посев 1975 г.)								
1	0.7	25	A_2	Расчистка 40-летнего древостоя	Сеялка на ПДН- 1	42,0	$2,04 \pm 0,18$	$2,62 \pm 0,16$

Приживаемость посевов на опытном участке довольно высокая и составила 80,6...83,2 % (табл. 6).

Т а б л и ц а 6

Сохранность и рост опытных культур сосны, созданных посевом

Показатели	Возраст культур, лет	
	1	2
Приживаемость, %	83,2	80,6
$НСР_{0,05}$	6,1	9,0
$F_{0,05}$	161	161
$F_{факт.}$	314	386
Число сеянцев в посевном месте, шт.	$3,9 \pm 0,16^*$	$3,7 \pm 0,15^*$
$t_{факт.}$ при $t_{0,05}=1,96$	$7,6 \pm 0,23$	$6,8 \pm 0,27$
	13,2	10,3
Годичный текущий прирост в высоту, см	-	$2,4 \pm 0,12$
$t_{факт.}$ при $t_{0,05}=1,96$	-	$2,3 \pm 0,11$
		0,6
Число жизнеспособных сеянцев, %	$74,2$	$93,5$
	79,3	98,3

Примечание: в числителе — с применением плуга ПКЛ-70, в знаменателе — покровосдирателя ПДН-1.

В культурах, созданных по плужным бороздам, в межбороздных пространствах он оставался таким же, как и на вырубках соответствующего типа леса. В плужных бороздах на первом году после посадки живой напочвенный покров отсутствовал. На второй год за-

растание им было очень незначительное, в связи с этим борьба с живым напочвенным покровом не требовалась.

В культурах, созданных без обработки почвы по расчистке, в первый год сформировался редкий покров с преобладанием вейника наземного и значительным участием льянки обыкновенной. В условиях сухого бора наблюдалось преобладание келерии сизой. Здесь живой напочвенный покров и на втором году не получил значительного развития и борьба с ним не требовалась. В свежем бору на втором году развитие вейникового покрова было более сильным. Он достигал высоты 80...100, иногда 130 см с проективным покрытием от 20 до 60 %. В условиях A_1 – A_2 при данном способе обработки почвы в первые два года жизни культур травянистая растительность не являлась опасным конкурентом, но учитывая способность вейника к быстрому размножению вегетативным путем, он несомненно будет угнетать в дальнейшем саженцы сосны. Отрицательным свойством вейникового покрова является еще и то, что при проведении механизированных уходов трактористу порой бывает очень трудно различить рядок культур среди высоких стеблей вейника, поэтому возникает опасность повреждения саженцев обрабатывающими орудиями. В связи с этим борьбу с травянистой растительностью в условиях свежего бора в культурах, созданных без обработки почвы по расчистке, следует начинать уже с первого года. В условиях сухого бора борьба с живым напочвенным покровом должна проводиться лишь в случае зарастания площадей вейником. Покров из келерии сизой не представляет угрозы лесным культурам.

В культурах, созданных по сплошной обработке почвы, в первый год формируется редкий вейниково-льянковый или же вейниковый покров. В сухом бору в сложении покрова принимает участие келерия сизая. Высота покрова не превышает 30...40, при большом участии вейника – до 50 см. На второй год проективное покрытие покрова несколько увеличивается, достигая 20...30%. Преобладающими видами становятся вейник наземный и тростниковидный. Высота покрова достигает 60...70 см. При данном способе обработки почвы лесные культуры, имея хорошие показатели роста, быстро выходят из травянистого яруса, поэтому проведение агротехнических уходов практически не требуется.

Культуры, созданные на вырубках горельников по маркированным бороздам, проведенных простейшими орудиями типа тракторной гусеницы, уже в первый год зарастают травянистой растительностью с преобладанием в нем иван-чая в такой степени, что среди покрова бывает трудно различить саженцы сосны. В целом такой покров не оказывает отрицательного влияния на состояние и рост культур из-за его небольшой густоты.

Рост и состояние культур сосны в фазе индивидуального роста

Состояние и рост посадок сосны в производственных культурах 1974–1975 гг. создания представлены в табл. 7.

В посадках сосны в условиях сухого бора на девятом году их создания наилучшие показатели сохранности, состояния и роста, как и в фазе приживаемости, наблюдались у культур, созданных по сплошной обработке почвы. Так, сохранность данных культур в сухих борах составила в среднем 88,7 % при высоте 226 см. Культуры сомкнулись или находились в стадии смыкания как в рядах, так и междурядьях, состояние их было хорошим.

В Республике Марий Эл на территории Куярского и Кокшайского лесхозов большие площади лесокультурного фонда расположены на вершинах дюнных всхолмлений с очень тяжелыми лесорастительными условиями, вызванными крайней бедностью и сухостью почвы (тип лесорастительных условий A_{0-1}). В этих условиях даже культуры по сплошной обработке почвы имели сильно ослабленное физиологическое состояние. Сохранность их меньше (70%), а средняя высота на 56 см уступала аналогичным культурам в условиях A_1 . Здесь наблюдалось в два раза большее количество поврежденных сосенок побеговыми, сосновой побеговой огневкой и другими вредителями. 4,4% сосенок имели суховершинность, вызванную, по-видимому, сильным иссушением почвы в 1981–1982 гг. Проективное покрытие культур низкое (в два раза ниже по сравнению с культурами по сплошной обработке почвы в A_1).

Еще хуже было состояние культур сосны в условиях сухого бора, созданных по другим способам обработки почвы: бороздной плугами ПКЛ-70, ПЛП-135 и без обработки почвы по вырубке. Сохранность культур по данным технологиям составила в среднем соответственно 51,6; 46,1; 57,7%. Повсюду наблюдалась сильная повреждаемость сосенок энтомофитами (55,7...72,5%). 7,5...9,3% от числа сохранившихся в момент учета сосенок имела суховершинность. Средняя высота 9-летних культур равнялась всего 96...112 см, что составляло 43...51% высоты сосны по сплошной обработке почвы.

Состояние культур на многих участках, особенно при редком размещении (с шириной междурядий более 2,5 м), было неудовлетворительным. По этой причине участки культур, созданные по бороздной обработке почвы плугом ПЛП-135 с размещением 3...4 м x 0,6 м, оказались расстроенными.

Состояние производственных культур сосны, созданных посадкой семян в свежем бору на гарях 1972 года, было везде удовлетворительное. Здесь также наилучшее состояние имеют культуры сосны, созданные по сплошной обработке почвы (сохранность 9-летних культур в среднем 83,4%). Культуры сомкнулись, общее проективное покрытие составляет 85%. Несколько хуже по сохранности и росту культуры по бороздной обработке почвы плугом ПКЛ-70.

Значительный интерес представляют культуры сосны, созданные в этих условиях без обработки почвы: по расчищенным площадям и по маркированным полосам на вырубках. В культурах, созданных по маркированным полосам, агротехнических уходов в силу специфики их создания не проводилось. Следует отметить, что при обследовании таких культур в 1975 году осенью в год их создания будущность их вызвала большие сомнения, так как они оказались под сильно развитым травяным покровом, правда, в основном из иван-чая. При учете таких культур в 1982 году выявлено, что они имели несколько худшие показатели как по сохранности, так и росту по сравнению с культурами, созданными по бороздной обработке почвы плугом ПКЛ-70 и сплошной. В целом же состояние данных культур в момент обследования было удовлетворительным. Так, сохранность 8-летних культур сосны, созданных по маркированным полосам, составила 56,4...67,6% (в среднем 62%). Хорошее состояние таких культур было выявлено и в 1985 году (в 11-летнем возрасте). Сомкнутость их составляла 0,6...0,7. В рядах везде произошло смыкание крон. По высоте и приростам сосна не уступала культурам по бороздной обработке почвы. По сравнению с культурами на вырубках, созданными по маркированным полосам, несколько выше была сохранность культур, созданных по расчищенным полосам без обработки почвы. Это вызвано тем, что в первом случае осуществлялась ручная посадка, во втором — механизированная. Качество использования семян при механизированной посадке также было выше (они были отсортированными). В 9-летнем возрасте в культурах сосны, созданных по расчистке, произошло смыкание крон в рядах. Хорошим качеством такие культуры характеризовались и в 1985 году.

В условиях свежего бора в культурах сосны, созданных по бороздной обработке почвы, без обработки почвы по расчистке и по маркированным полосам, некоторое участие принимают лиственные породы (0,1...1,0 тыс. шт. на 1 га), представленные в основном порослевой березой и осинкой. Вследствие этого часть сосен (от 1,6 до 9,6%) оказалась в той или иной степени затененной. Но учитывая то, что угнетающее влияние на сосну оказывает в основном небольшое количество порослевой березы с пониженным темпом роста, проведение рубок ухода в ТЛУ А₂ в этой фазе, как правило, не требуется.

Сохранность культур на опытном участке в фазе индивидуального роста довольно высокая (81,0...83,6%), различий же в сохранности саженцев от вида обработки почвы не выявлено (табл.8).

Т а б л и ц а 7

Состояние и рост культур сосны посадкой сеянцами в фазе индивидуального роста

ТЛУ	Категория участка	Обработка почвы	Число проб. площ.	Густота культур, тыс.шт. на 1 га	Сохранность, %	Распределение сосен по состоянию, %				Средняя высота, см
						жизнеспособные	сомнительные	в том числе из общего количества живых		
								поврежденные	суховершинные	
9-летние культуры (год создания – 1974)										
A ₀₋₁	Сгоревшие культуры	Сплошная	3	11,1	70,0	98,0	2,0	71,4	4,4	170,6
A ₁	То же	То же	2	11,1	88,7	100,0	0,0	34,0	0,5	226,5
A ₁	Вырубка горельника	Бороздная ПКЛ-70	3	5,4	51,6	99,5	0,5	72,9	8,2	110,6
A ₁	Сгоревшие культуры	Бороздная ПЛП-135	3	4,6	46,1	100,0	0,0	70,7	7,5	135,8
A ₁	Вырубка горельника	Без подговки по расчистке	3	6,0	57,7	99,5	0,5	55,7	9,3	96,4
A ₂	Сгоревшие культуры	Сплошная	3	17,5	83,4	100,0	0,0	4,7	0,0	257,0
A ₂	30-40-летний горельник	Без обработки по расчистке	2	12,8	70,7	100,0	0,0	16,2	0,0	199,7
8-летние культуры (год производства – 1975)										
A ₂	Вырубка горельника	Бороздная ПКЛ-70	2	7,2	75,0	100,0	0,0	29,9	0,0	216,2
A ₂	То же	По маркированным полосам	2	6,1	62,0	100,0	0,0	23,8	0,0	181,1
B ₂	-//-	Бороздная ПКЛ-70	2	5,7	63,0	100,0	0,0	33,3	0,0	132,4
B ₂₋₃	-//-	То же	2	5,7	27,4	97,2	2,8	36,8	0,0	87,1
B ₃	-//-	-//-	2	5,7	22,4	97,0	3,0	15,4	0,0	101,0

Т а б л и ц а 8

Динамика основных количественных и качественных биометрических показателей опытных культур сосны, созданных посадкой семян

Обработка почвы	Сохран- ность, %	Высота саженцев, см	Текущий годовой при- рост в высоту, см	Распределение саженцев, %	
				здоровые	сомнительные
5-летние					
Сплошная	83,6	105,4 ±3,03	35,0 ± 1,0	99,7	0,3
Бороздная	83,0	98,4 ± 3,62	31,6 ± 1,4	99,6	0,4
Без обработки по расчистке	87,6	95,6 ± 2,33	32,1 ± 0,9	99,5	0,5
7-летние					
Сплошная	82,1	173,1± 6,41	38,2 ± 1,8	99,7	0,3
Бороздная	81,0	157,7± 4,92	31,9 ± 1,4	99,8	0,2
Без обработки по расчистке	82,5	143,2± 4,02	27,3 ± 1,4	99,8	0,2

Высоты и годичные приросты саженцев сосны в пяти- и семилетнем возрасте в варианте сплошной обработки почвы превзошли (на 5% уровне значимости) таковые в варианте с расчисткой, а годичные приросты в высоту – в варианте с бороздной обработкой почвы. Существенные различия в высотах и приростах саженцев сосны отмечены в семилетних культурах и в варианте с бороздной обработкой почвы и расчисткой, хотя в предыдущие годы различия эти были несущественными. В фазе индивидуального роста не выявлено достоверных различий по высоте культур сосны, созданных по сплошной обработке почвы и бороздной.

В Республике Марий Эл культуры сосны на гарях 1972 года в небольшом объеме создавались также в условиях свежей и влажной субори по бороздной обработке почвы плугом ПКЛ-70. На обследованных участках культур в данных условиях агротехнических и лесоводственных уходов не проводилось. Состояние культур сосны в условиях свежей субори (B_2) в целом удовлетворительное. На восьмом году сохранность их составляла 63,0%, средняя высота – 132 см. В культурах сильное развитие получил живой напочвенный покров из вейников, орляка, а также ракитника, вследствие чего около трети сосенок (28,0%) испытывало от них в той или иной степени затенение. Значительное участие в культурах принимают лиственные породы (12,3 тыс. шт. на 1 га), представленные в основном семенной березой и осинкой, но затенение ими сосны сравнительно небольшое – 5,5%. Наблюдалось сильное повреждение культур лесом (скусы) – до 22%, что значительно повлияло на снижение их средней высоты. На участках культур требовался уход за сосной в виде борьбы с травянистой и древесно-кустарниковой растительностью.

В условиях влажной субори (B_3) и переходных от свежей к влажной (B_{2-3}) состояние культур сосны неудовлетворительное, сохранность сосны низкая – 22,7...27,4%, местами до 47%, а средняя высота не превышала одного метра. Низкая сохранность сосны обусловлена гибелью от вымокания в бороздах, а также от пышно развитого травяного покрова из вейников и орляка, затенения ракитником и лиственными породами. В культурах от 8 до 26% сосенок в 8-летних культурах находилось под травяным покровом, а от 16 до 31% (на некоторых участках до 92%) было затенено лиственными породами. В данных культурах ввиду значительного перерастания сосны лиственными породами необходим срочный уход за сосной в виде уборки затеняющих ее лиственных пород, ракитника и борьбы с травянистой растительностью.

Состояние *посевов* сосны на обследованных производственных площадях 1974 года создания в значительной мере зависело от условий местопроизрастания и погоды.

Исследования показали, что в условиях сухого бора, даже с благоприятными метеоусловиями в год посева (1974), состояние их к девятому году было неудовлетворительным: сохранность низкая (13,6...38,4%), очень велика повреждаемость сосенок энтомофагами (побеговыми, сосновой побеговой огневкой и др.) – 73,1...75,3%. От 13,2 до 29,9% сосенок суховершинили, а количество сомнительных по степени жизнеспособности достигало 34%. Проектное покрытие сосны составляло всего 4...10%.

В более благоприятных условиях произрастания, переходных от сухого бора к свежему (A_{1-2}) и тем более в условиях свежего бора (A_2), состояние посевов 1974 года на девятый год оказалось удовлетворительным. Сохранность посевов довольно высокая (49,4...71,5%), средние высоты сосны и годовые текущие приросты в высоту за последние три года (особенно в условиях A_2) значительно выше. Если в условиях A_{1-2} еще сохраняется довольно высокая повреждаемость сосенок (46,1...67,1%), то в свежем бору A_2 она не превышала 36,2 %, а суховершинность их вообще отсутствовала.

Посев сосны в свежем бору 1975 года (с неблагоприятными метеоусловиями), характеризовался в момент обследования неудовлетворительным состоянием, сохранность его составляла всего 35,8%, а покрытие породами – 8%.

Такие показатели, как сохранность сеянцев, число сеянцев в посевном месте выше в посевах с использованием ПДН-1 по сравнению с ПКЛ-70. Средняя же высота, годовые текущие приросты в высоту и число жизнеспособных сеянцев здесь, наоборот, меньше из-за большей загущенности посевов.

Лиственные породы в условиях сухого бора отсутствуют, в свежем бору участие их не превышает 1,0 тыс. шт. на 1 га и угнетающего влияния на сеянцы сосны они практически не оказывают.

На основании изучения роста и состояния производственных и опытных культур сосны на гарях 1972 года можно сделать следующие **выводы**.

1. Посадки сосны в фазе приживаемости по сплошь обработанной почве показывают лучшее состояние и рост в условиях сухого и свежего боров. Показатели состояния и роста культур сосны, созданных по бороздной обработке почвы и без обработки по расчистке, существенно между собой не различаются. Посевы сосны в условиях сухого бора уже в фазе приживаемости имеют неудовлетворительное состояние.

2. Борьба с травянистой растительностью в свежем бору в культурах сосны, созданных без обработки почвы по расчистке, необходима с первого же года их создания. В культурах сосны в условиях сухого и свежего боров, созданных по бороздной обработке почвы, из-за слабого зарастания борозд травянистой растительностью борьба с ней первые два года не требуется. Не нужна она и в культурах, созданных по сплошной обработке почвы.

3. Посевы сосны в условиях свежего бора при благоприятных метеорологических условиях в год создания имеют хорошие показатели роста и состояния как в фазе приживаемости, так и индивидуального роста молодняка и дают практически идентичный результат с посадками. Лучшие результаты обеспечиваются применением покровосдирателя ПДН-1.

4. В фазе индивидуального роста наилучшие показатели роста и состояния культур как в сухом, так и свежем бору наблюдаются по сплошной обработке почвы. В условиях сухого бора культуры сосны, созданные посадкой сеянцев по бороздной обработке почвы плугом ПЛП-135, ПКЛ-70 и без обработки по вырубке горельника во многих случаях, особенно при редком размещении, имеют неудовлетворительное состояние и

сильную физиологическую ослабленность. Первоначальная густота культур должна составлять не менее 8...9 тыс. шт. на 1 га. В условиях свежего бора в фазе индивидуального роста посадки сосны при всех способах обработки почвы и даже без нее имели удовлетворительное состояние. Это свидетельствует о возможности создания культур в этом ТЛУ в первые 1–2 года после пожара простейшими способами – по расчистке или даже вручную по маркированным полосам на вырубках горельников.

5. В условиях свежей и влажной субори (B_2 , B_3) и переходных от свежей к влажной (B_{2-3}) успешность создания культур сосны возможна только при своевременном проведении агротехнических и лесоводственных уходов в виде борьбы с травянистой растительностью и лиственными породами. Во влажных условиях необходима посадка семян в пласты плужных борозд.

Список литературы

1. Ковалев, М. С. Культур сосны на песчаных почвах Псковской области / М. С. Ковалев // Исследования по лесному хозяйству. – Псков: ЛенНИИЛХ, 1971. – С. 210–217.
2. Бобринев, В. П. Опыт создания лесных культур в горельниках / В. П. Бобринев // Лесоводство, лесоразведение, лесные пользования. Экспресс-информация. – М., 1985. – Вып. 4. – С. 1–15.
3. Незабудкин, Г. К. Типы культур сосны на вырубках и гарях в сосняках Марийской АССР / Г. К. Незабудкин. – Йошкар-Ола: Марийск. кн. изд-во, 1961. – 47 с.
4. Незабудкин, Г. К. Типы лесных культур на землях гослесфонда Марийской АССР / Г. К. Незабудкин, Н. В. Еремин. – Йошкар-Ола: Марийск. кн. изд-во, 1969. – 72 с.
5. Зуев, А. И. Опыт создания лесных культур на вырубках и гарях Воскресенского лесхоза // Опыт создания лесных культур и защитных лесных насаждений в Горьковской области / А. И. Зуев. – Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1975. – С. 24–29.
6. Зыряев, А. Г. Разработка технологии расчистки неликвидных горельников и их лесовосстановление // Сб. статей по итогам научн.-исследовательских работ за 1972–1975 гг. / А. Г. Зыряев. – М.: Лесн. промышленность, 1977. – С. 69–76.
7. Незабудкин, Г. К. Искусственное восстановление леса на гарях / Г. К. Незабудкин // Проблемы ликвидации последствий лесных пожаров 1972 года в Марийской АССР. – Йошкар-Ола: Марийск. кн. изд-во, 1976. – С. 76–81.
8. Калинин, К. К. Сохранность и рост культур сосны, созданных на гарях / К. К. Калинин, А. В. Иванов // Лесное хозяйство. – 1985. – №1. – С. 36–38.
9. Алексеев, И. А. Особенности развития эпифитотий в сосновых культурах на гарях в Марийской республике / И. А. Алексеев, С. П. Васьков, Н. Н. Попова // Сосновые леса России в системе многоцелевого лесопользования. Тез. Всерос. конф. – Воронеж, 1993. – С. 48–50.
10. Васьков, С. П. Фитопатологическое состояние культур сосны на гарях Марийской АССР. Автореф... канд. с.-х. наук. / С. П. Васьков. – Свердловск, 1986. – 21 с.
11. Огиевский, В. В. Обследование и исследование лесных культур / В. В. Огиевский, А. А. Хиров. – М.: Лесная промышленность, 1964. – 50 с.
12. Незабудкин, Г. К. Обследование и исследование лесных и плантационных культур / Г. К. Незабудкин. – Йошкар-Ола: Изд-ние Марийск. политех. ин-та, 1971. – 52 с.
13. Кобранов, Н. П. Обследование и исследование лесных культур / Тр. по лесному опытному делу. – Вып. VIII. – Л., 1930.
14. Суворов, В. И. Методические указания по оценке режима роста хвойных культур на эколого-физиологической основе / В. И. Суворов. – Пушкино: ВНИИЛМ, 1976. – 36 с.
15. Кречетова, Н. В. Обследование и исследование лесных культур: Методические указания по прохождению практик и выполнению дипломного проектирования / Н. В. Кречетова, А. С. Яковлев, М. А. Карасева. – Йошкар-Ола: МарПИ, 1987. – 20 с.

16. Алексеев, Г. А. Способы восстановления леса на сосновых гарях. Санитарное состояние и комплекс мероприятий по защите лесов, пострадавших от лесных пожаров 1972 года. Материалы научно-практического совещания (г. Йошкар-Ола, 2–3 октября 2002 г.) / Г. А. Алексеев. — Пушкино: ВНИИЛМ, 2002. — С.5–7.

Статья поступила в редакцию 15.01.09.

K. K. Kalinin

**ARTIFICIAL REFORESTATION PECULIARITIES OF PINE PLANTATIONS
ON MAJOR POST-FIRE AREAS OF SREDNEYE ZAVOLZHYE REGION**

Quantitative and qualitative characteristics of pine culture on the 1972-post-fire areas in the phase of survival ability and individual growth are given. The nature of forest regeneration after 1972 fires is shown to have its peculiarities, which influenced the success of reforestation in the areas that undergone fire.

Key words: pine culture, soil cultivation, method and way of creation, type of conditions for forest growth.

КАЛИНИН Константин Константинович — доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства МарГТУ. Область научных интересов — исследование последствий лесных пожаров на лесные биогеоценозы и разработка рекомендаций по ликвидации их последствий. Автор более 130 работ.

УДК 630*521 (470. 343): 674. 032. 16

В. Л. Черных, А. В. Попова, Н. Г. Киселева**ТАБЛИЦЫ СУММ ПЛОЩАДЕЙ СЕЧЕНИЙ, ВИДОВЫХ ВЫСОТ И ЗАПАСОВ ДЛЯ ДРЕВОСТОЕВ СОСНЫ ИСКУССТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ**

Составлены таблицы сумм площадей сечений, видовых чисел и запасов для древостоев сосны искусственного происхождения, произрастающих в условиях северо-восточной части Республики Марий Эл. На основе математического моделирования и функции роста Митчерлиха разработана новая стандартная таблица.

Ключевые слова: видовая высота, запас древостоя, сумма площадей сечения, класс бонитета насаждения, коэффициент изменчивости, таблицы хода роста, таблицы сумм площадей сечений.

Введение. Исследования в области создания стандартных таблиц сумм площадей сечений и запасов древостоев проводятся на протяжении многих десятилетий. В совершенствование методики их составления и разработки существенный вклад внесли профессора А. В. Вагин [1], А. В. Тюрин, Н. П. Анучин, П. М. Верхунов [2, 3], В. П. Воропанов [4], М. Л. Дворецкий [5], В. В. Загребев, В. С. Чернявский, Н. В. Выводцев, Н. Я. Саликов [6], Н. В. Третьяков [7] и многие другие.

Таблицы сумм площадей сечений (ΣG) и запасов (M), в зависимости от их назначения, методических основ и исходных материалов, могут быть составлены для разных уровней G и M , иметь различную структуру, определяемую составом таксационных признаков, принятых в качестве входа.

В течение долгого периода специальных таблиц сумм площадей сечений и запасов древостоев не было. Значения этих показателей входили в состав таблиц хода роста. В качестве входов в такие таблицы служили древесная порода, класс бонитета и возраст.

Многолетний опыт показал, что для практических целей конструкция таблиц сумм площадей сечений в зависимости от класса бонитета и возраста достаточно громоздка. Для пользования такими таблицами необходимо установить возраст и высоту древостоя, определить по ним класс бонитета и затем для данного класса бонитета и возраста найти значение площади сечения в соответствующей таблице сумм площадей сечений или в полных таблицах хода роста.

Развивая идеи Вейзе и Герхарда, проф. Н. В. Третьяков [2] произвел анализ зависимости сумм площадей сечений и запасов насаждений от высоты и нашел возможным выразить эту зависимость одним уравнением в пределах древесной породы для всех классов бонитета. Найденные таким образом расчетные значения сумм площадей сечений и запасов для всевозможных значений средней высоты были основой для составления общих для древесной породы таблиц.

На основе переработки таблиц хода роста Герхарда по хвойным породам, Варгаса-де-Бедемара и проф. А. В. Тюрина по лиственным, проф. Н. В. Третьяков в 1941 году опубликовал «Таблицы сумм площадей сечений и запасов древостоев при полноте 1,0 на площади 1 га», названные впоследствии стандартными таблицами ЦНИИЛХ. Входами в них явились порода и средняя высота (H_{cp}) древостоя.

В основе их построения – положение о том, что в формуле определения запаса – $M = \sum G \cdot H_{cp} \cdot F_{cp}$ – запас древостоя (M) породы есть только функции сумм площадей сечений ($\sum G$) и средних видовых чисел (F_{cp}) и при одинаковых средних высотах (H_{cp}) имеют тождественные значения, независимо от типа лесорастительных условий (ТЛУ).

Нормативы эти были переработаны в 1963 году В. Б. Козловским и др. на основе накопившихся к тому времени многочисленных таблиц хода роста насаждений с взятием из них наибольших значений сумм площадей сечений и запасов.

Однако результаты исследований проф. П. В. Воропанова [4], проф. М. Л. Дворецкого [5] и др. показали, что при одинаковых средних высотах древостои высших классов бонитета имеют более высокие запасы, а низших – меньшие, чем это показано в стандартных таблицах ЦНИИЛХ.

Исследования последнего периода (В. В. Загребов, К. Б. Лосицкий, В. С. Чернявский, П. М. Верхунов и др.) позволили сделать важный вывод: сумма площадей сечения древостоев данной породы является функцией не только средней высоты, но и типа лесорастительных условий [2,6]. На основе изучения сосновых лесов выделено несколько лесорастительных зон и в литературных источниках отмечено, что с ухудшением лесорастительных условий при одинаковых средних высотах (H_{cp}) сомкнутого древостоя значение суммы площадей сечений ($\sum G$) систематически падает. Кроме того, суммы площадей сечений нормальных древостоев при прочих равных условиях существенно различны для естественного и искусственного происхождения.

А. В. Вагин [1] предложил использовать статистический способ определения значений сумм площадей сечений сомкнутых насаждений непосредственным измерением их значений в таксационных выделах лесного массива:

$$G_{\max} = \sum G_{cp} + 3,0 \cdot \sigma_G . \quad (1)$$

Более целесообразно использование для решения задачи следующих математических моделей [2]:

$$\sum g \cdot h = a_0 + a_1 \cdot h; C_{\sum g} = f(H_{cp}); \quad (2)$$

$$\sum G_{\max} = \sum G_{cp} + 2,0 \cdot \left(\frac{\sum g_{cp} \cdot C_{\sum g}}{100} \right), \quad (3)$$

где $\sum g$ – среднее значение сумм площадей сечений древостоев в пределах групп средних высот по классам бонитета, m^2 ;

h – среднее значение высот древостоев в пределах образованных групп, м;

$C_{\sum g}$ – коэффициенты изменчивости сумм площадей сечений древостоев в группах высот, %;

$\sum g_{cp}$ – выравненные значения сумм площадей сечений по классам бонитета и средним высотам, m^2 ;

$\sum G_{\max}$ – максимальное значение сумм площадей сечений древостоев на уровне доверительного интервала 0,95 ($t = 2,0$ – критерий Стьюдента), m^2 .

Исследования показали, что видовая высота древостоев (HF) породы как компонент формулы запаса аналогично зависит от ряда природных факторов – средней высоты, коэффициента состава породы в запасе леса, полноты древостоя, класса бонитета насаждения:

$$HF = f(H_{\text{ср}}, K, p, B). \quad (4)$$

С учетом изложенного учеными МарГТУ [6] составлены новые стандартные таблицы сумм площадей сечений и запасов насаждений различных пород для лесов Урала. В. В. Загреевым предложены нормативы полнот сосновых насаждений, В. С. Чернявским – по осине, Н. В. Выводцевым – по лиственнице, Н. Я. Саликовым – по березе и др. [5].

В литературе содержатся многочисленные эмпирические таблицы сумм площадей сечений и запасов сомкнутых насаждений различных пород, построенных с неодинаковой точностью, по различным методикам, на разном исходном материале.

В лесоустройстве стандартные таблицы сумм площадей сечения и запаса служат для определения и корректировки запаса древостоев при их натуральной таксации через относительную полноту.

Поэтому стандартные таблицы сумм площадей сечения и запаса должны быть построены лишь с учетом крупных природных факторов: лесорастительного района, средней высоты ($H_{\text{ср}}$), класса бонитета и происхождения древостоя.

В качестве же критерия биологической продуктивности леса следует применять местные таблицы хода роста сомкнутых насаждений или же региональные стандартные таблицы сумм площадей сечений и запасов древостоев.

Цель работы. Исследовать закономерности изменения сумм площадей сечений и запасов древостоев сосны искусственного происхождения и разработать стандартные таблицы сумм площадей сечений видовых высот и запасов.

Объект исследований. Объектом исследования явились искусственные древостои сосны, произрастающие в типе леса майниково-брусничном в северо-восточной части Республики Марий Эл.

Экспериментальный материал. Пробные площади в количестве 10 штук были заложены на территории Сернурского и Бушковского лесничеств Республики Марий Эл в условиях произрастания сосны обыкновенной искусственного происхождения. Закладка пробных площадей произведена согласно ОСТ-56-69-83 «Пробные площади лесоустроительные. Методы закладки». На каждой пробной площади исследовалось 20–25 учетных деревьев.

Таксационная характеристика древостоев пробных площадей приведена в табл. 1.

Исходные данные по пробным площадям обрабатывались на ПК с использованием программы «Proba 2005» (МарГТУ).

Эффективность пакета прикладных программ «Proba 2005» заключается в комплексном подходе к обработке, хранению и накоплению входной и расчетной информации в базах данных [8]. Параллельная статистическая обработка по таксационным показателям и учетным деревьям позволяет в диалоговом режиме оценить исходные данные на точность и изменчивость, а также выявить закон распределения случайной величины.

После проверки и корректировки информации по пробной площади выполняется расчет в программе «Proba 2005».

Т а б л и ц а 1

**Таксационные показатели пробных площадей древостоев сосны
искусственного происхождения северо-восточной части Республики Марий Эл**

№ ПП	Возраст, лет	Диаметр, см	Высота, м	Запас, м³	Сумма G, м²/га	Густота, шт/га	Индекс класса бонитета, ед	Коэффициент состава, %
1	62	23,4	26,6	385,0	26,3	612	35,1	100
2	64	25,0	26,3	256,5	20,1	408	36,2	100
3	66	26,2	27,7	351,9	28,0	517	35,3	100
4	72	30,9	26,6	438,7	35,9	480	33,9	100
5	86	36,5	33,1	692,1	46,5	445	36,9	100
6	93	43,2	32,7	474,9	33,6	229	36,8	100
7	109	38,4	31,6	411,5	28,9	250	33,0	100
8	65	32,6	30,3	452,2	32,6	391	37,1	100
9	66	30,9	26,5	529,4	43,5	582	38,5	100
10	71	29,0	29,0	613,3	48,0	728	36,5	100

Результаты исследований. Для полного анализа таблиц сумм площадей сечений и запасов древостоев сосны искусственного происхождения использовался математический подход. По экспериментальным материалам были подобраны 11 множественных уравнений. В качестве аргументов в моделях были приняты показатели: высота, диаметр, возраст, густота, индекс класса бонитета.

Математические модели, характеризующие суммы площадей сечений, приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Математические модели сумм площадей сечений сосняков искусственного происхождения

№ п/п	Аргументы	Вид уравнения	Коэфф. корреляции
1	Высота, общая густота, индекс бонитета	$G_1 = -107,24 + 2,62 \cdot H + 0,05 \cdot N + 1,21 \cdot I_{bon}$	0,812
2	Диаметр, высота, общая густота, индекс бонитета	$G_2 = -78,19 + 1,67 \cdot d + 0,16 \cdot H + 0,07 \cdot N + 0,61 \cdot I_{bon}$	0,955
3	Высота, индекс бонитета	$G_3 = -82,81 + 1,01 \cdot H + 2,45 \cdot I_{bon}$	0,534
4	Высота, возраст	$G_4 = -7,05 + 1,94 \cdot H - 0,19 \cdot A$	0,381
5	Диаметр, высота, индекс бонитета	$G_5 = -76,02 + 0,27 \cdot d + 0,47 \cdot H + 2,45 \cdot I_{bon}$	0,543
6	Диаметр, высота	$G_6 = 10,01 + 0,26 \cdot d + 0,56 \cdot H$	0,326
7	Диаметр, общая густота, индекс бонитета	$G_7 = -75,64 + 1,73 \cdot d + 0,07 \cdot N + 0,61 \cdot I_{bon}$	0,955
8	Диаметр, высота, общая густота, индекс бонитета, возраст	$G_8 = -73,43 + 1,73 \cdot d + 0,2 \cdot H + 0,07 \cdot N + 0,46 \cdot I_{bon} - 0,04 \cdot A$	0,955
9	Диаметр, высота, возраст	$G_9 = 6,57 + 0,82 \cdot d + 0,95 \cdot H - 0,34 \cdot A$	0,453
10	Общая густота, возраст	$G_{10} = -21,84 + 0,05 \cdot N + 0,42 \cdot A$	0,657
11	Высота	$G_{11} = 48 \cdot (1 - \exp(-0,036052) \cdot H)^{0,700473}$	0,571

Табулированные значения сумм площадей сечений (ΣG_i) по рассмотренным моделям в зависимости от конкретных значений аргументов (табл. 2) представлены в виде таблицы (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Расчетные значения сумм площадей сечений по математическим моделям

A	H	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅	G ₆	G ₇	G ₈	G ₉	G ₁₀	G ₁₁
10	6,6	339,26	540,85	7,04	3,78	11,76	14,88	543,76	541,96	13,20	415,45	16,18
20	14,4	112,86	175,49	15,87	16,93	17,86	20,62	176,82	176,09	21,64	143,58	25,48
30	18,9	61,84	89,13	20,64	23,67	21,60	24,44	89,88	89,67	26,69	77,53	29,29
40	22,1	43,52	57,06	23,86	27,90	24,40	27,46	57,52	57,60	30,24	51,93	31,55
50	24,6	35,99	42,94	26,62	30,77	26,96	29,93	43,22	43,43	32,65	40,28	33,09
60	26,9	31,23	31,26	25,26	33,24	24,76	31,60	31,25	31,79	32,65	34,48	32,04
70	28,5	30,17	30,75	27,12	34,36	26,95	33,62	30,73	31,23	34,35	32,69	33,95
80	30	30,43	30,59	29,60	35,29	29,56	35,34	30,54	30,92	35,15	32,26	35,59
90	31,2	30,85	32,23	31,30	35,63	31,56	36,91	32,19	32,42	35,74	33,15	36,80
100	32,4	32,69	34,87	33,97	35,98	34,44	38,37	34,82	34,86	36,00	35,10	37,92
110	33,6	34,84	37,03	36,90	36,32	37,42	39,71	36,95	36,76	35,85	37,25	38,96

В результате анализа было выявлено, что множественные линейные уравнения (№1, 2, 7 и 8 табл. 2, 3) не дают корректные результаты для прогнозирования сумм площадей сечений на всем интервале изменения высот древостоев объекта исследований. Значительные отклонения результатов расчета ΣG от экспериментальных данных мы получим при возрасте древостоя до 60 лет. Это связано с тем, что ход изменения сумм площадей сечений (ΣG) с высотой носит нелинейный характер. Наиболее правильной функцией для описания роста и развития живых систем служит формула Митчерлиха [8]:

$$G_{cp} = a_0 \cdot (1 - \exp((-a_1) \cdot H))^{a_2}. \quad (5)$$

Расчеты показали, что модель Митчерлиха оказалась наиболее адекватна. Определяем G_{cp} по этому уравнению:

$$G_{cp} = 48 \cdot (1 - \exp(-0,036052 \cdot H))^{0,700473}. \quad (6)$$

Коэффициент изменчивости сумм площадей сечений в среднем равен 19,9%, который и принят для практического использования. Расчет максимальных сумм площадей сечения производится по формуле (3).

В табл. 4 приведены средние и максимальные значения сумм площадей сечений, рассчитанные по системе моделей.

Т а б л и ц а 4

Значения средней и максимальной величин сумм площадей сечений древостоев сосны искусственного происхождения

Средние высоты <i>H</i>	Суммы площадей сечений	
	<i>G_{cp}</i>	<i>G_{max}</i>
5	13,58	18,99
10	20,78	29,05
15	26,04	36,41
20	30,10	42,09
25	33,32	46,59
30	35,91	50,21
35	38,02	53,15

Видовые высоты рассчитывались по модели $HF = 0,556 + 0,444 \cdot H$ ($r = 0,98$).

Запас древостоя определялся по формуле $M = \sum G \cdot HF$.

Новая стандартная таблица сумм площадей сечений, видовых высот и запасов представлена в табл. 5.

Т а б л и ц а 5

**Новая стандартная таблица сумм площадей сечений,
видовых высот и запасов для искусственных древостоев сосны**

Высота, H	Сумма площадей сечений, $\sum G$	Видовая высота, HF	Запас на 1 га, M
10	29,1	5,00	145
12	32,2	5,89	190
16	37,7	7,66	289
20	42,1	9,44	397
24	45,8	11,21	513
28	48,9	12,99	635
32	51,5	14,77	760
36	53,7	16,54	888
40	55,6	18,32	1018

В табл. 6 представлено сравнение сумм площадей сечений и запасов стандартных таблиц и вновь составленных таблиц для древостоев сосны искусственного происхождения.

Т а б л и ц а 6

**Сравнение сумм площадей сечений и запасов стандартных таблиц
и вновь составленных (порода сосна)**

Средняя высота, H , м	Сумма площадей сечений на 1 га, m^2		Запас на 1 га, m^3		Отклонения			
	стандарт- ные таблицы	новые таблицы	стандарт- ные таблицы, m^3	новые таблицы, m^3	$\sum G$		M	
					абсолют- ные, m^2	относи- тельные, %	абсолют- ные, m^3	относи- тельные, %
10	25,9	29,1	128	145	-3,2	-10,9	-17	-11,8
12	28,5	32,2	166	190	-3,7	-11,6	-24	-12,5
14	30,6	35,1	204	238	-4,5	-12,8	-34	-14,2
16	32,3	37,7	243	289	-5,4	-14,2	-46	-15,8
18	33,6	40,0	281	342	-6,4	-16,0	-61	-17,8
20	34,7	42,1	318	397	-7,4	-17,6	-79	-19,9
22	35,6	44,0	355	454	-8,4	-19,1	-99	-21,9
24	36,4	45,8	391	513	-9,4	-20,5	-122	-23,8
26	37,0	47,4	425	573	-10,4	-21,9	-148	-25,9
28	37,4	48,9	460	635	-11,5	-23,4	-175	-27,5
30	37,8	50,2	493	697	-12,4	-24,7	-204	-29,3
32	38,1	51,5	525	760	-13,4	-26,0	-235	-30,9
34	38,4	52,6	557	824	-14,2	-27,0	-267	-32,4
36	38,6	53,7	588	888	-15,1	-28,1	-300	-33,8
38	38,8	54,6	618	953	-15,8	-29,0	-335	-35,1
40	38,9	55,6	647	1018	-16,7	-30,0	-371	-36,4

Значения сумм площадей сечения и запасов на 1 га у вновь составленных таблиц выше, чем у «стандартных». Относительные отклонения в запасах составляют от 11,8 до 36,4 %.

Выводы

1. Для древостоев сосны искусственного происхождения, произрастающих в условиях северо-восточной части Республики Марий Эл, впервые составлены таблицы сумм площадей сечений, видовых высот и запасов.

2. Сравнение при одинаковых высотах сумм площадей сечений древостоев «стандартных таблиц» и новых выявило наибольшее их значение у новых. Относительные отклонения в запасах составляют от 11,8 до 36,4 %.

3. Повышенные значения запасов в новых стандартных таблицах можно объяснить интенсивным ростом культур и высокой полндревесностью стволов.

Список литературы

1. Антанайтис, В. В. Современное направление лесоустройства / В. В. Антанайтис. – М.: Лесная промышленность, 1977. – 280 с.
2. Верхунов, П. М. Таксация леса: учебное пособие / П. М. Верхунов, В. Л. Черных. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. – 396 с.
3. Верхунов, П. М. Лесотаксационный справочник для лесов Урала (нормативные материалы для Пермской, Челябинской, Свердловской, Курганской областей и Башкирской АССР). Ч. 1 / Гос. ком. СССР по лесу, Мин. лесного хозяйства РСФСР. Мар. Политехн. ин-т им. А. М. Горького; [сост. Верхунов П. М., Попова А. В., Черных В. Л. и др.]. – М., 1991. – 239 с.
4. Воропанов, П. В. Определение текущего древесного прироста / П. В. Воропанов. – Л.: Гослесбумиздат, 1961. – 134 с.
5. Дворецкий, М. Л. Текущий прирост древесины ствола и древостоя / М. Л. Дворецкий. – М.: Лесная промышленность, 1964. – 126 с.
6. Загребев, А. В. Общесоюзные нормативы для таксации лесов / В. В. Загребев, В. И. Сухих, А. З. Швиденко, Н. Н. Гусев, А. Г. Мошкалев. – М.: Колос, 1992. – 495 с.
7. Третьяков, Н. В. Справочник таксатора / Н. В. Третьяков и др. – Л.: Гослесбумиздат, 1952. – 853 с.
8. Черных, В. Л. Информационные технологии в лесном хозяйстве: учебное пособие / В. Л. Черных, В. В. Сысуев. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2000. – 377 с.

Статья поступила в редакцию 12.02.09.

V. L. Chernykh, A. V. Popova, N. G. Kiselyova

TABLES OF CROSS-SECTION AREA SUMS, FORM HEIGHTS AND STOCK VOLUME FOR ARTIFICIAL PINE OF NORTH-EASTERN PART OF MARI EL

Tables of cross-section area sums, form numbers and stock volume for artificial pine growing in the environment of north-eastern part of Mari El are elaborated. A new standard table is developed on the basis of mathematic modeling and Mitcherlikh growth function.

Key words: *form height, stock volume, cross-section area sum, plantation capacity class, variability ratio, growth progress tables, tables of cross-section area sums.*

ЧЕРНЫХ Валерий Леонидович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. кафедрой лесной таксации и лесоустройства МарГТУ, заслуженный лесовод Республики Марий Эл. Область научных интересов – лесная таксация, математическое моделирование,

информационные и ГИС-технологии в лесном хозяйстве. Автор более 200 научных работ, автор (соавтор) 16 монографий, лесотаксационных справочников, 5 авторских свидетельств на программное обеспечение.

ПОПОВА Александра Викторовна – кандидат сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесной таксации и лесоустройства. Область научных интересов – лесная таксация, лесоустройство в лесном хозяйстве. Автор более 90 научных статей, лесотаксационных справочников, учебных пособий, методических указаний.

КИСЕЛЕВА Наталья Геннадьевна – аспирант кафедры лесной таксации и лесоустройства МарГТУ. Область научных интересов – лесная таксация, системный анализ и моделирование экосистем. Автор четырех публикаций.

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

УДК 630*375.5

М. Ю. Смирнов, И. Р. Бакулина

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО ЗВЕНА ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ

Приведена информационно-логическая и математическая модель совместного функционирования автопоездов с гидроманипулятором и без него. Предложена методика расчета продолжительности погрузочно-разгрузочных работ навесным гидроманипулятором.

Ключевые слова: лесовозный автопоезд, гидроманипулятор, погрузка, вывозка лесоматериалов, выгрузка, математическая модель.

Введение. В современных условиях лесозаготовок для повышения эффективности вывозки лесоматериалов предлагается оснащать предприятия автопоездами, оборудованными средствами самозагрузки. В зависимости от производственных условий, количественного соотношения транспортных средств и погрузочных механизмов вывозка лесоматериалов с использованием автопоездов с навесными гидроманипуляторами может осуществляться по двум основным организационным формам работы: индивидуальной и звеньевой. В зависимости от количественного состава погрузочно-транспортного звена и соотношения транспортных единиц и погрузочных механизмов изменяется время простоя лесовозных автопоездов в пунктах погрузки и выгрузки лесоматериалов, общее время пребывания на погрузочном и разгрузочном пунктах, их сменная производительность. Поэтому вопросы, связанные с организацией работы автопоездов с гидроманипуляторами в составе погрузочно-транспортного звена, более полным их использованием являются весьма актуальными. Для эффективной работы звена лесовозных автопоездов необходимо проведение исследований и совершенствование технологических процессов погрузки, вывозки и выгрузки лесоматериалов.

Целью работы является построение моделей совместного функционирования лесовозных автопоездов с гидроманипуляторами и без них в различных природных и производственных условиях.

Решаемые задачи: 1) разработка алгоритмов совместной эксплуатации автопоездов с гидроманипуляторами и без них; 2) анализ элементов, входящих в структуру рабочего цикла навесного гидроманипулятора; 3) изучение структуры подготовительно-заключительных работ.

Математическое моделирование. При разработке алгоритма работы автопоезда с гидроманипулятором в сочетании с автопоездами без гидроманипулятора использован метод абстрактного представления моделируемого процесса.

Схема алгоритма функционирования автопоезда с гидроманипулятором в составе звена представлена на рис. 1. Схема математической модели приведена на рис. 2. Для лучшего восприятия число блоков в ней соответствует числу блоков схемы функционирования.

В схеме математической модели приняты следующие обозначения: t_{nop} – время движения звена автопоездов в порожнем направлении за один рейс, мин.; t_{zp} – то же в грузовом направлении; n_p – число рейсов, совершаемых звеном за смену; l_1, l_2, l_3 – расстояния перемещения груза по дорогам различных категорий, км; t_1^n, t_2^n, t_3^n – время хода 1 км пути по дорогам различных категорий в порожнем направлении, мин/км.; t_1^z, t_2^z, t_3^z – то же в грузовом направлении; t_c, t_c' – продолжительность установки автопоезда под погрузку и разгрузку соответственно, мин.; t_{mp}, t_{mt} – продолжительность приведения гидроманипулятора из транспортного положения в рабочее и обратно, мин.; T_n – продолжительность загрузки автопоезда, мин.; T_{e1}, T_{e2} – продолжительность разгрузки автопоезда с гидроманипулятором и автопоезда без манипулятора соответственно, мин.; t_{y1}^n, t_{y2}^n – продолжительность одного цикла погрузки лесоматериалов на автопоезд с гидроманипулятором и на автопоезд без гидроманипулятора соответственно, мин.; n_y^n, n_y^z – количество циклов, совершаемых гидроманипулятором при загрузке и разгрузке автопоезда; t_{y1}^z, t_{y2}^z – продолжительность одного цикла выгрузки лесоматериалов с автопоезда, оснащенного гидроманипулятором, и с автопоезда без гидроманипулятора соответственно, мин.; t_{cm} – время на смену автопоездов, мин.; Q_{um} – объём лесоматериалов в штабеле, м³; t_{nu} – продолжительность переезда автопоезда между штабелями, мин.; L_{um} – расстояние между штабелями, м.; v_{nu} – скорость движения автопоезда между штабелями, м/с; $t_{yв}$ – продолжительность увязки воза, мин.; T_p – продолжительность рейса, мин.; T – продолжительность рабочей смены, мин.; $t_{nз}$ – подготовительно-заключительное время, мин.; $K_в$ – коэффициент использования рабочего времени; t_{pab} – фактически отработанное время с начала смены, мин.; N_2 – число автопоездов без навесных гидроманипуляторов в звене; $Q_{пол1}, Q_{пол2}$ – полезная рейсовая нагрузка автопоезда с манипулятором и без манипулятора соответственно, м³.

Сменная производительность звена лесовозных автопоездов зависит от числа рейсов n_p , полезных рейсовых нагрузок автопоездов $Q_{пол1}$ и $Q_{пол2}$.

$$P_{cm} = n_p \cdot (Q_{пол1} + N_2 \cdot Q_{пол2}) . \quad (1)$$

Количество рейсов, совершаемых звеном автопоездов,

$$n_p = \frac{(T - t_{nз}) \cdot K_в}{T_p} . \quad (2)$$

Продолжительность рейса определяется по формуле

$$T_p = t_{nop} + t_{zp} + T_1 + T_2 , \quad (3)$$

где T_1 и T_2 – продолжительность пребывания звена автопоездов на погрузочном и разгрузочном пунктах, мин.

Общее время простоя подвижного состава под погрузкой и разгрузкой за один рейс включает в себя следующие элементы: подготовительные работы в пунктах погрузки и разгрузки, выполнение погрузочно-разгрузочных работ, заключительные работы. В состав подготовительных работ входят: установка автопоезда под погрузку у штабеля сортиментов, установка упоров и приведение стрелы гидроманипулятора из транспортного положения в рабочее. Заключительные работы: приведение всех механизмов в транспортное положение, увязка груза.

Время выполнения погрузочно-разгрузочных операций является основным элементом общей продолжительности простоев лесовозных автопоездов.

Исходя из рис. 2, можно записать:

$$T_1 = n_{ш} \cdot (t_c + t_{мп}) + \sum_{i=1}^{N_2} T_{n2_i} + n_{ш} \cdot t_{мт} + (n_{ш} - 1) \cdot \frac{l_{ш}}{60 \cdot g_{шш}} + (N_2 - 1) \cdot t_{см} + T_{n1} + t_{ув}, \quad (4)$$

$$T_2 = t'_c + t_{мп} + T_{с1} + (N_2 - 1) \cdot t_{см} + \sum_{i=1}^{N_2} T_{с2_i} + t_{мт}, \quad (5)$$

где $n_{ш}$ – число штабелей сортиментов, из которых загружаются автопоезда звена.

Суммарное время движения автопоездов

$$t_{ноп} + t_{сп} = (l_1 \cdot t_1^n + l_2 \cdot t_2^n + l_3 \cdot t_3^n) + (l_1 \cdot t_1^2 + l_2 \cdot t_2^2 + l_3 \cdot t_3^2) = l_1 \cdot t_1 + l_2 \cdot t_2 + l_3 \cdot t_3, \quad (6)$$

где t_1, t_2, t_3 – время хода 1 км пути в обоих направлениях по дорогам различных категорий, мин.

Выражение (1) для определения сменной производительности погрузочно-транспортного звена лесовозных автопоездов с учётом (2) – (6) примет вид

$$П_{см}^{зв} = \frac{(T - t_{нз}) \cdot K_v \cdot (Q_{пол1} + N_2 \cdot Q_{пол2})}{\left(l_1 \cdot t_1 + l_2 \cdot t_2 + l_3 \cdot t_3 + n_{ш} \cdot (t_c + t_{мп} + t_{мт}) + \sum_{i=1}^{N_2} T_{n2_i} + (n_{ш} - 1) \cdot \frac{l_{ш}}{60 \cdot g_{шш}} + 2 \cdot (N_2 - 1) \cdot t_{см} + T_{n1} + t_{ув} + t'_c + t_{мп} + T_{с1} + \sum_{i=1}^{N_2} T_{с2_i} + t_{мт} \right)}. \quad (7)$$

Полученная математическая модель позволяет выполнять расчеты при различных параметрах погружаемых лесоматериалов и различных соотношениях автопоездов с гидроманипуляторами и без них, учитывает состав операций, входящих в структуру подготовительно-заключительных работ.

При моделировании совместной работы лесовозных автопоездов пребывание их непосредственно под загрузкой или разгрузкой рассматривается как процесс формирования или разобшения пачки лесоматериалов за несколько рабочих циклов, совершаемых гидроманипулятором (рис. 2). То есть продолжительность простоя автопоезда непосредственно под погрузкой T_n или разгрузкой $T_с$, без учёта дополнительного времени, затрачиваемого на перемещение автопоезда при смене рабочих позиций, определяется выражениями

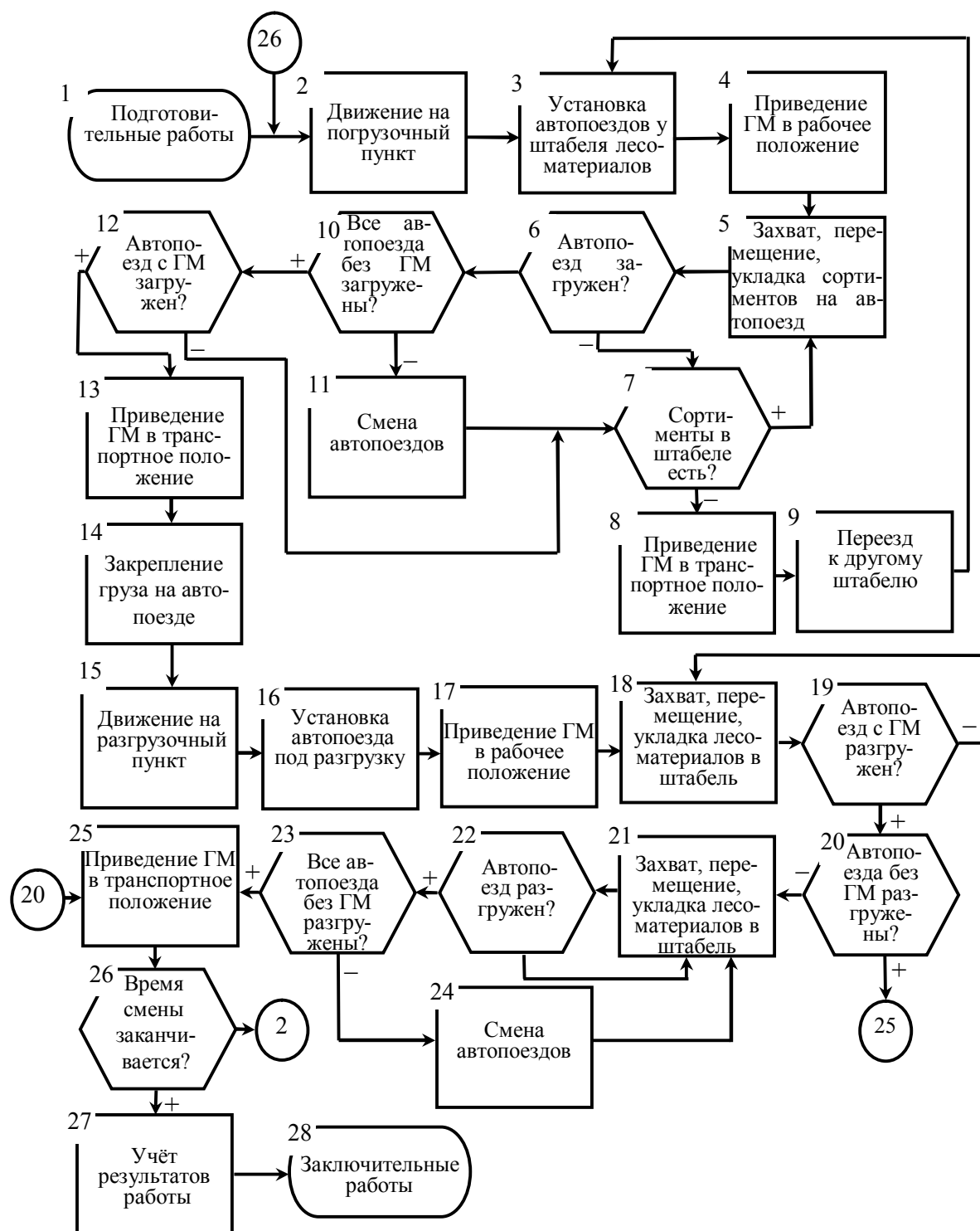


Рис. 1. Схема функционирования автопоезда с гидроманипулятором в составе звена

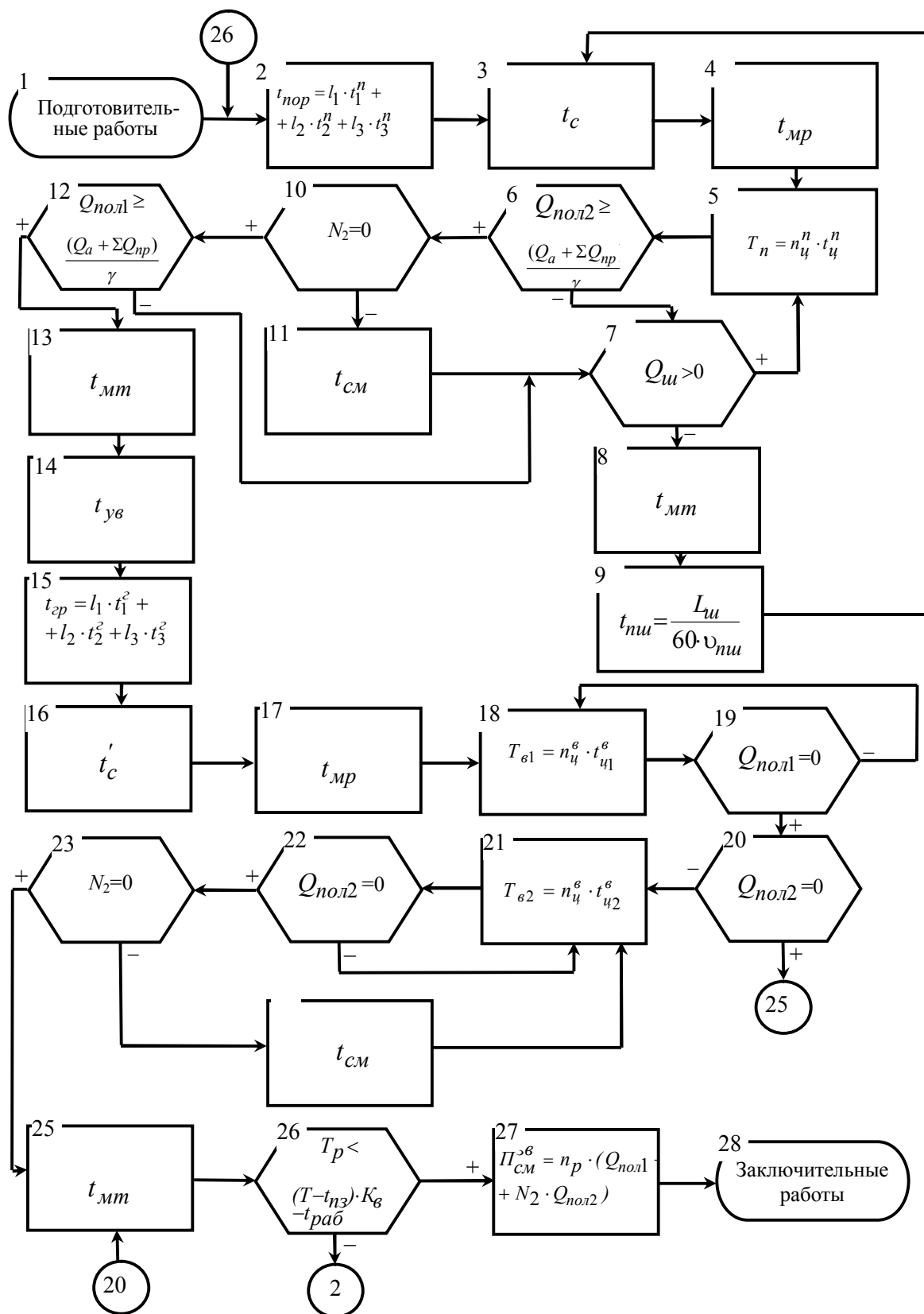


Рис. 2. Схема математической модели работы автопоезда с гидроманипулятором в составе звена

$$T_n = \sum_{i=1}^{n_u^n} t_{ui}^n, \quad (8)$$

$$T_6 = \sum_{i=1}^{n_u^6} t_{ui}^6. \quad (9)$$

При этом пачки груза на транспортной единице различаются числом сортиментов, из которых они сформированы. В зависимости от того, с крупными или мелкими лесоматериалами осуществляется работа оператора, число сортиментов, захватываемых манипулятором за рабочий цикл, также различно.

Для определения продолжительности погрузочно-разгрузочных работ необходимо: 1) знать характеристики предмета труда (диаметр, длину, средний объем одного сортимента); 2) определить число сортиментов, захватываемых грейфером манипулятора за один рабочий цикл; 3) определить число рабочих циклов, совершаемых манипулятором при загрузке или разгрузке автопоезда.

Схема алгоритма расчёта приведена на рис. 3.

Число рабочих циклов, совершаемых манипулятором, определяется полезной рейсовой нагрузкой автопоезда и числом сортиментов, захватываемых грейфером манипулятора за один рабочий цикл.

На первом этапе по средним таксационным параметрам сортиментов: среднему диаметру, объему осуществляется моделирование числа сортиментов, захватываемых грейфером гидроманипулятора за один рабочий цикл.

Далее по смоделированным значениям и исходным данным определяется объем пачки груза, погруженной за рабочий цикл Q_i

$$Q_i = n_{ci} \cdot V_c, \quad (10)$$

где n_{ci} – количество сортиментов в i -ой пачке груза;
 V_c – средний объем сортимента, м^3 .

При решении задачи учитываются ограничения:

- объем захватываемой группы сортиментов не превышает грузоподъемности манипулятора при заданном вылете стрелы

$$Q_i \leq Q_{zm}, \quad (11)$$

где Q_{zm} – грузоподъемность манипулятора на заданном вылете стрелы, м^3 ;

- объем сформированной пачки груза не должен превышать полезную рейсовую нагрузку автопоезда

$$\sum_{i=1}^{n_u} Q_i \leq Q_{пол}. \quad (12)$$

Для определения продолжительности рабочего цикла навесного гидроманипулятора используются зависимости, полученные экспериментальным путём при проведении наблюдений за работой автопоездов с гидроманипуляторами на действующих лесозаготовительных предприятиях Республики Марий Эл [1, 2],

$$t_u = f(n_{ci}, h_{ш}, l_n), \quad (13)$$

где $h_{ш}$ – высота штабеля лесоматериалов, м;

l_n – расстояние перемещения груза в горизонтальной плоскости, м.

Продолжительность загрузки и разгрузки автопоезда является результатом сложения значений времени всех рабочих циклов манипулятора, в течение которых формируется или разобщается пачка груза.

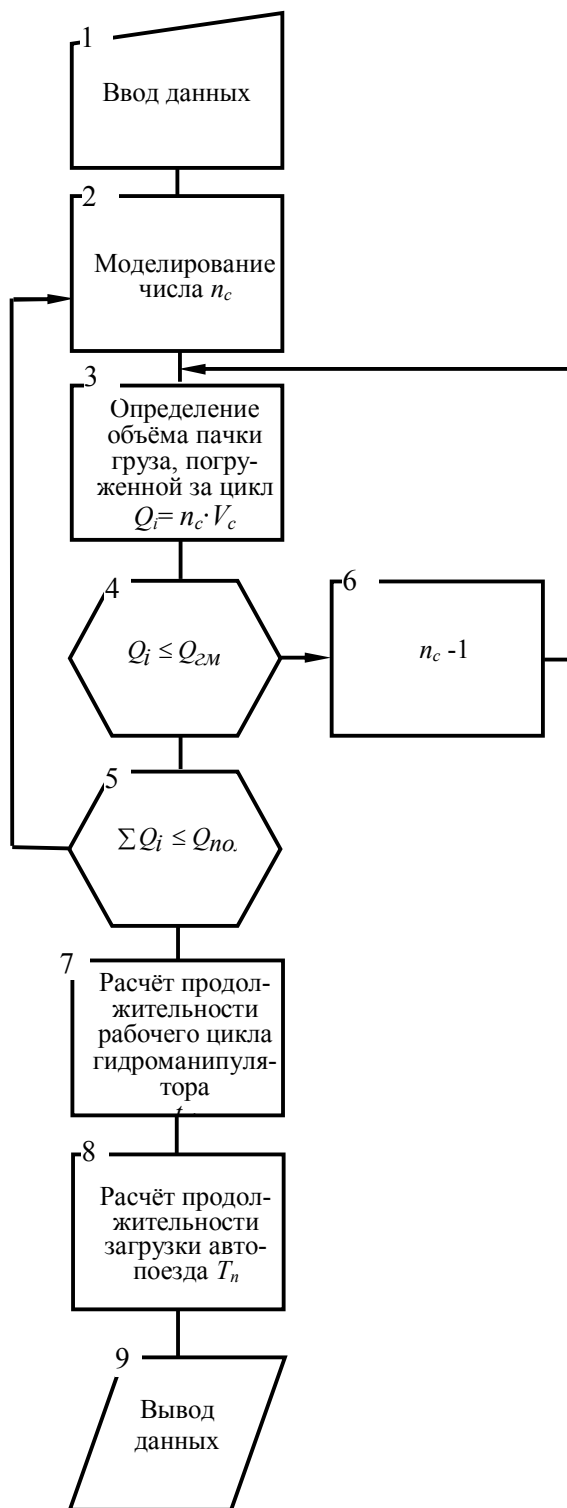


Рис. 3. Схема алгоритма расчёта продолжительности погрузочно-разгрузочных работ навесным гидроманипулятором

В основу моделирования числа сортиментов, захватываемых грейфером манипулятора, положен математический аппарат метода Монте-Карло [3]. Применение данного метода требует знания закона распределения моделируемой случайной величины, для установления которого проведены экспериментальные наблюдения за 2218 циклами погрузки и выгрузки. По результатам обработки опытных данных получена таблица статистического распределения дискретной случайной величины, которая используется при моделировании числа сортиментов, захватываемых грейфером гидроманипулятора за один рабочий цикл [4].

Интерпретация результатов. В соответствии с методикой разработаны алгоритм и программа расчёта продолжительности погрузочно-разгрузочных работ навесным гидроманипулятором в среде программирования Delphi 7 [5]. Результаты расчета на ЭВМ в зависимости от расстояний перемещения груза, диаметра сортиментов, полезной рейсовой нагрузки автопоезда отражены на графиках, характеризующих влияние указанных факторов на величину продолжительности погрузочно-разгрузочных работ.

На рис. 4 и 5 представлены графики зависимостей продолжительности загрузки и разгрузки автопоезда от расстояния перемещения груза.

Рассматривались две составляющие: расстояние перемещения груза в горизонтальной плоскости l_n (рис. 4.) и расстояние перемещения груза в вертикальной плоскости, определяемое высотой штабеля лесоматериалов (рис. 5). В качестве исходной схемы автопоезда принята Урал-43202 + ТМЗ-802 + СФ-65С с полезной рейсовой нагрузкой $Q_{пол} = 11,2 \text{ м}^3$. Для построения графиков диапазоны изменения факторов l_n и $h_{ш}$ приняты по грузовысотной характеристике гидроманипулятора.

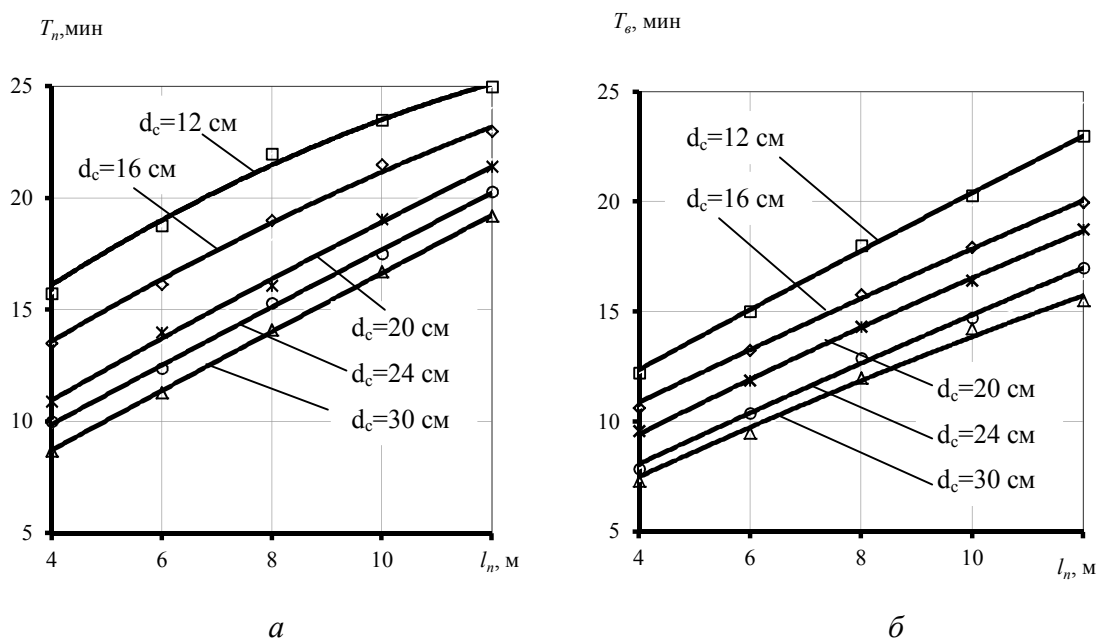


Рис. 4. Зависимость продолжительности погрузочно-разгрузочных работ от расстояния перемещения груза l_n : а – погрузка; б – выгрузка

Согласно данным рис. 4 и 5, наиболее значимой является горизонтальная составляющая перемещения груза. С увеличением горизонтальной составляющей расстояния перемещения груза на 1 м при погрузке сортиментов продолжительность работ увеличивается в среднем на 11,5 %, при выгрузке – на 11,4 %.

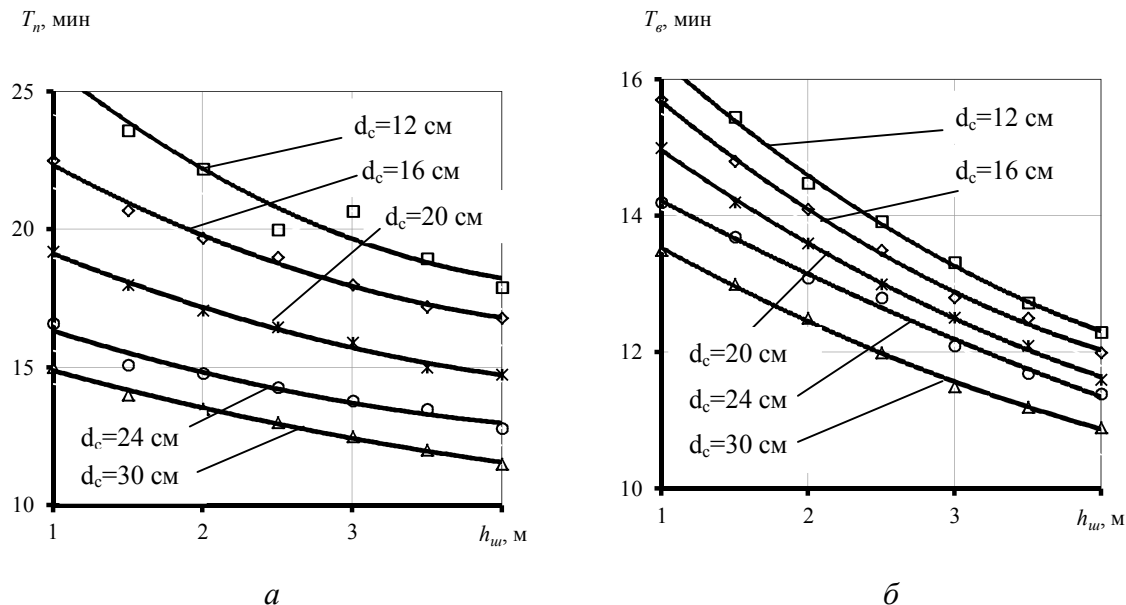


Рис. 5. Зависимость продолжительности погрузочно-разгрузочных работ от высоты штабеля лесоматериалов: а – погрузка; б – выгрузка

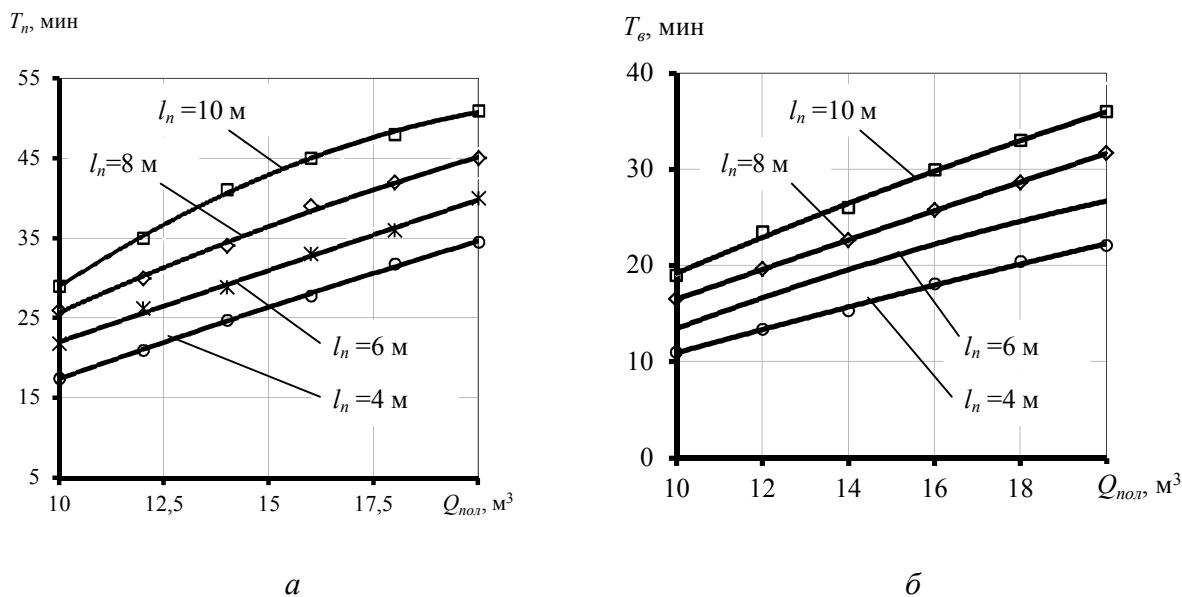


Рис. 6. Зависимость продолжительности погрузочно-разгрузочных работ от полезной рейсовой нагрузки автопоезда: а – погрузка; б – выгрузка

С уменьшением высоты штабеля сортиментов продолжительность погрузки и разгрузки автопоезда также увеличивается (рис. 5). Влияние вертикальной составляющей менее значимо вследствие меньшего размаха значений. Так, при изменении высоты штабеля на 1 м продолжительность погрузки изменяется в среднем на 9,3 %, выгрузки – на 9,4 %.

На продолжительность простоев звена под погрузкой и разгрузкой оказывает влияние величина полезной рейсовой нагрузки автопоездов (рис. 6).

Зависимость продолжительности погрузочно-разгрузочных работ от диаметра сортиментов приведена на рис. 7.

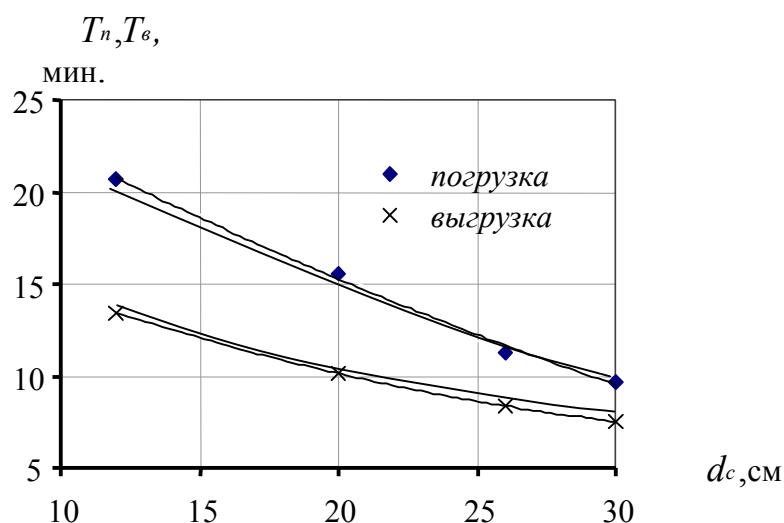


Рис. 7. Зависимость продолжительности погрузочно-разгрузочных работ от диаметра лесоматериалов:

—◆— экспериментальные данные; — по регрессионной зависимости

При построении графика (рис. 7) расчёты выполнены для среднего расстояния перемещения груза $l_n = 4,9$ м и высоты штабеля лесоматериалов $h_{ш} = 2$ м.

С увеличением диаметра сортиментов продолжительность их погрузки и выгрузки уменьшается. На рис. 7 также представлены результаты, полученные путем натурных наблюдений на ООО «Марлеспром», и смоделированные значения.

Результаты сравнения смоделированных значений показали достаточную сходимость их с экспериментальными данными. Расхождение между данными натурных наблюдений и смоделированными значениями составляет от 0,3–8,1 %.

Выводы. Предлагаемые формулы продолжительности пребывания автопоездов в пунктах погрузки и разгрузки, сменной производительности погрузочно-транспортного звена, полученные на основе схем алгоритма функционирования автопоезда с гидроманипулятором в составе погрузочно-транспортного звена и математической модели его работы, позволяют выполнять расчёты при различных параметрах предмета труда и природно-производственных условий. Разработанные математические модели, алгоритм и компьютерная программа для расчета продолжительности погрузочно-разгрузочных работ служат хорошим инструментом для исследования влияния различных факторов на величину простоя автопоездов в пунктах погрузки и выгрузки лесоматериалов. Это позволит предприятиям лесной отрасли, опираясь на полученные результаты, упростить разработку нормативов продолжительности выполнения погрузочно-разгрузочных работ.

Список литературы

1. Бакулина, И. Р. Регрессионные зависимости продолжительности рабочего цикла навесного гидроманипулятора / И. Р. Бакулина; Марийск. гос. техн. ун-т. – Йошкар-Ола, 2008. – 13 с. – Деп. в ВИНТИ 26.02.08, № 160-B2008.
2. Смирнов, М. Ю. Результаты экспериментальных исследований продолжительности погрузки и выгрузки лесоматериалов навесными гидроманипуляторами / М. Ю. Смирнов, И. Р. Бакулина // Лесной вестник. – 2008. – № 4. – С.43–47.

3. Соболев, И. М. Метод Монте-Карло / И. М. Соболев. – М.: Наука, 1985. – 78 с.
4. Бакулина, И. Р. Совершенствование процесса транспортировки лесоматериалов на базе самозагружающихся автопоездов: Автореф. дис...канд.техн.наук: 05.21.01 / И. Р. Бакулина. – Йошкар-Ола, 2008. – 19 с.
5. Бакулина, И. Р. Расчёт продолжительности погрузочно-разгрузочных работ навесным гидроманипулятором / И. Р. Бакулина, М. Ю. Смирнов // Свидетельство № 9400; зарегистрировано в Отраслевом фонде алгоритмов и программ 01.11.2007.

Статья поступила в редакцию 05.02.09.

M. Yu. Smirnov, I. R. Buckoulina

MODELING OF WORK OF A LOADING-TRANSPORTATION UNIT OF A LOG TRUCK

Information-logic and mathematic model of joint functioning of log trucks with a hydraulic manipulator and without it is given. The methodology of calculating the duration of loading-unloading works with an attached hydraulic manipulator is suggested.

Key words: *log truck, hydraulic manipulator, loading, timber logging, unloading, mathematic model.*

СМИРНОВ Михаил Юрьевич – кандидат технических наук, профессор кафедры транспортно-технологических машин МарГТУ. Область научных интересов – транспорт лесоматериалов и эксплуатация лесовозных дорог. Автор 142 публикаций.

БАКУЛИНА Ирина Рифатовна – ассистент кафедры начертательной геометрии и графики МарГТУ. Область научных интересов – транспорт лесоматериалов. Автор 13 публикаций.

УДК 625.711.84.003

В. В. Савельев

МЕТОДИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОДОРОГ

Показана необходимость разработки математических моделей и программ определения стоимости строительства лесовозных автомобильных дорог. Приведены методика и математические модели определения стоимости строительства дорожных одежд.

Ключевые слова: лесовозные автодороги, дорожные одежды, математические модели, стоимость строительства.

Введение. Многие лесные районы Российской Федерации не имеют или располагают незначительными запасами качественных местных каменных материалов, пригодных для строительства покрытий лесовозных дорог. Вывозка лесоматериалов по лесовозным автомобильным дорогам без капитальных покрытий связана со значительными затратами материальных средств. Лесовозные дороги с грунтовыми и грунтовыми улучшенными покрытиями становятся труднопроезжаемыми в весенний и осенний периоды.

Вид и эксплуатационное состояние покрытия существенно влияют на выбор типа лесовозного автопоезда, величину полезной рейсовой нагрузки, скорость движения и расход топлива. При вывозке лесоматериалов по грунтовым неустроенным дорогам допускается значительный перерасход топлива, неэффективное использование автопоездов и высокая ее себестоимость.

Стоимость строительства элементов автомобильных дорог определяется ресурсным, ресурсно-индексным, базисно-индексным или базисно-компенсационным методом по укрупненным показателям или на основании разработки сметной документации.

Для определения стоимости автомобильных дорог составляются локальные сметы на основании объемов всех видов работ, потребности в дорожно-строительных материалах, места и условий их получения и расстояния доставки.

Сметы составляются на основе сметных норм, представляющих собой систему показателей затрат труда, эксплуатации машин, расхода материалов на принятый измеритель. Определение сметной стоимости строительства дорожной одежды представляет собой трудоемкую работу, связанную со специфической номенклатурой видов работ и расходов, с характером использования таких нормативных документов, как СНиПы, ЕНиРы, ГЭСНы и другие нормативы.

Анализ укрупненных показателей стоимости строительства лесовозных автомобильных дорог (например, приведенных в ОНТП 02-85) и других сметных нормативов (например, ГЭСН 81-02-01-2001, ГЭСН 81-02-27-2001 и др.) показывает, что они составлены для небольшого числа дорожных конструкций и не учитывают тип машин и их производительность, технологию строительства отдельных элементов дороги, качество

применяемых материалов и другие факторы. Кроме того, в связи с инфляцией применение нормативных и справочных документов связано с необходимостью пересчета цен 1980-х годов в цены текущего года с применением коэффициентов, во многих случаях не учитывающих действительное изменение цен по различным видам работ, затратам и расходам.

Цель исследования. Математическое моделирование стоимости строительства лесовозных автомобильных дорог в связи с типами и конструкциями дорожной одежды, земляного полотна и других элементов дороги.

Теоретическое обоснование и постановка задачи. Стоимость строительства элементов автомобильных дорог определяется ресурсным, ресурсно-индексным, базисно-индексным или базисно-компенсационным методом по укрупненным показателям или на основании разработки сметной документации.

Для определения стоимости автомобильных дорог составляются локальные сметы на основании объемов всех видов работ, потребности в дорожно-строительных материалах, места и условий их получения и расстояния доставки.

Сметы составляются на основе сметных норм, представляющих собой систему показателей затрат труда, эксплуатации машин, расхода материалов на принятый измеритель. Определение сметной стоимости строительства дорожной одежды представляет собой трудоемкую работу, связанную со специфической номенклатурой видов работ и расходов, с характером использования таких нормативных документов, как СНиПы, ЕНиРы, ГЭСНы и другие нормативы.

Анализ укрупненных показателей стоимости строительства лесовозных автомобильных дорог (например, приведенных в ОНТП 02-85) и других сметных нормативов (например, ГЭСН 81-02-01-2001, ГЭСН 81-02-27-2001 и др.) показывает, что они составлены для небольшого числа дорожных конструкций и не учитывают тип машин и их производительность, технологию строительства отдельных элементов дороги, качество применяемых материалов и другие факторы. Кроме того, в связи с инфляцией применение нормативных и справочных документов связано с необходимостью пересчета цен 1980-х годов в цены текущего года с применением коэффициентов, во многих случаях не учитывающих действительное изменение цен по различным видам работ, затратам и расходам.

Для определения стоимости строительства дорожной одежды предлагаются методика и математические модели, учитывающие особенности технологии строительства, толщину слоев, типы, производительность и стоимость дорожно-строительных машин, вид, качество, стоимость и способы улучшения физико-механических свойств материалов, разнообразие способов производства работ и другие местные условия [1].

Математическое моделирование. Стоимость строительства лесовозных автомобильных дорог $C_{ад}$ (в рублях) определяется по формуле

$$C_{ад} = C_{под} + C_{вс} + C_{зн} + C_{до} + C_{впр} + C_{об}, \quad (1)$$

где $C_{под}$ – стоимость подготовительных работ; $C_{вс}$ – стоимость строительства водопропускных сооружений; $C_{зн}$ – стоимость возведения земляного полотна; $C_{до}$ – стоимость устройства дорожной одежды; $C_{впр}$ – стоимость выполнения мероприятий по регулированию водно-теплового режима земляного полотна; $C_{об}$ – стоимость обустройства дороги.

Стоимость подготовительных работ можно определить по формуле

$$C_{\text{под}} = C_{\text{валки}} + C_{\text{обр}} + C_{\text{трел}} + C_{\text{раскр}} + C_{\text{корч}} + C_{\text{раст}} + C_{\text{план}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{валки}}$ – стоимость валки деревьев; $C_{\text{обр}}$ – стоимость обрезки или обрубки сучьев; $C_{\text{трел}}$ – стоимость трелевки деревьев или хлыстов; $C_{\text{раскр}}$ – стоимость раскряжевки хлыстов на сортименты; $C_{\text{корч}}$ – стоимость корчевки пней и срезки пней заподлицо с землей; $C_{\text{раст}}$ – стоимость снятия растительного слоя; $C_{\text{план}}$ – стоимость планировки поверхности.

Стоимость возведения земляного полотна из боковых резервов определяется по формуле

$$C_{\text{зн}} = \sum_{m=1}^{n_{\text{сл}}} (C_{\text{рп.м}} + C_{\text{разр.м}} + C_{\text{упл.м}}) + C_{\text{пл.зн}} + C_{\text{пл.р}}, \quad (3)$$

где $C_{\text{рп.м}}$ – стоимость разработки и перемещения грунта m -го слоя; $C_{\text{разр.м}}$, $C_{\text{упл.м}}$ – стоимости разравнивания и уплотнения грунта m -го слоя; $C_{\text{пл.зн}}$ – стоимость планировки поверхности и откосов насыпи; $C_{\text{пл.р}}$ – стоимость планировки боковых резервов; $n_{\text{сл}}$ – количество слоев грунта.

Стоимость устройства дорожной одежды нежесткого типа:

$$C_{\text{дор}} = \sum_{i=1}^n \left(C_{\text{см.и}} + C_{\text{тр.и}} + \sum_{j=1}^k C_{\text{устр.и.ж}} \right), \quad (4)$$

где $C_{\text{см.и}}$ – стоимость дорожно-строительных материалов i -го слоя; $C_{\text{тр.и}}$ – стоимость транспортирования материалов i -го слоя; $C_{\text{устр.и.ж}}$ – стоимость выполнения j -ой технологической операции при устройстве j -го слоя; n – количество слоев дорожной одежды; k – количество технологических операций при устройстве каждого слоя дорожной одежды.

Стоимость любой технологической операции $C_{\text{то}}$ при подготовительных работах, возведении земляного полотна и устройстве дорожной одежды:

$$C_{\text{то}} = N_{\text{мс}} C_{\text{мс}}, \quad (5)$$

где $N_{\text{мс}}$ – количество машино-смен (человеко-дней) при выполнении технологической операции; $C_{\text{мс}}$ – стоимость машино-смены дорожно-строительной машины или тарифная ставка рабочих, р.

Количество машино-смен (человеко-дней) определяется по формулам

$$N_{\text{мс}} = Q / P_{\text{см}}; \quad (6)$$

$$N_{\text{мс}} = Q / H_{\text{выр}}, \quad (7)$$

где Q – объем работ (м^3 , м^2 и т.п.); $P_{\text{см}}$, $H_{\text{выр}}$ – производительность и норма выработ-

ки машины, механизма или рабочего в смену (м^3 , м^2 и т.п.).

Норма выработки вычисляется по формуле

$$H_{\text{выр}} = T V k_u / H_{\text{вр}}, \quad (8)$$

где T – продолжительность рабочей смены, ч; V – единица объема работ (100 м^3 , 1000 м^2 и т.п.); k_u – коэффициент использования рабочего времени; $H_{\text{вр}}$ – норма времени для выполнения единицы объема работ (маш.-час, чел.-час).

По аналогичным моделям определяются стоимости строительства земляного полотна по другим технологиям, водопропускных сооружений и обустройства дороги.

Рациональный вариант решения технической задачи определяют из зависимости, учитывающей прочностные, транспортные, монтажные, эксплуатационные и другие требования, предъявляемые к дорожным одеждам. В этом случае целевая функция критерия оптимальности имеет вид

$$C_{1\text{м}^3} = (C_{\text{дор}} + C_{\text{тр}}) k_n \rightarrow \min, \quad (9)$$

где $C_{1\text{м}^3}$ – себестоимость вывозки 1 м^3 лесоматериалов, р.; $C_{\text{дор}}$, $C_{\text{тр}}$ – дорожная и транспортная составляющие себестоимости вывозки 1 м^3 лесоматериалов, р.; k_n – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

$$C_{\text{дор}} = L_d (0,01 n_{\text{ам}} C_{1\text{км}} / \kappa + C_{\text{ср}}) / Q_n, \quad (10)$$

где L_d – длина дороги, км; $C_{1\text{км}}$ – стоимость 1 км дороги, р; $n_{\text{ам}}$ – норма амортизационных отчислений от стоимости покрытия, %; κ – часть года, составляющая расчетный период; $C_{\text{ср}}$ – затраты на содержание и текущий ремонт 1 км покрытия в течение расчетного периода, р.; Q_n – объем вывозки лесоматериалов за расчетный период, м^3 .

$$C_{\text{тр}} = C_{\text{мс}} / \Pi_{\text{см}}, \quad (11)$$

где $C_{\text{мс}}$ – себестоимость машино-смены лесовозного автопоезда, р.; $\Pi_{\text{см}}$ – сменная производительность лесовозного автопоезда, $\text{м}^3/\text{смену}$.

Для оценки эффективности инвестиций и выбора наиболее эффективного проекта применяются статические и динамические методы.

Статические методы оценки эффективности инвестиций применяются для небольших по размерам инвестиций, по которым сложные расчеты экономически нецелесообразны и для которых важна скорость принятия решений.

Приведенные затраты $S_{\text{пр}}$ определяются по формуле

$$S_{\text{пр}} = (C_i + E_n K_i), \quad (12)$$

где C_i – себестоимость (текущие затраты) вывозки лесоматериалов по i -му варианту, р.; E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; K_i – капитальные вложения на строительство дороги по i -му варианту, р.

$$K = C_{1\text{км}} L_{\partial}; \quad (13)$$

$$C = C_{1\text{м}^3} Q_n + \mathcal{E}_n, \quad (14)$$

где $\mathcal{E}_n$ – эксплуатационные потери, р.

$$\mathcal{E}_n = A N_{pt} \bar{C}, \quad (15)$$

где A – количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП), определяемое по формуле (2.8) [2]; N_{pt} – количество автомобилей, пропускаемых по покрытию за срок эксплуатации; $\bar{C}$ – средние потери от одного ДТП [1], р.

$$A = 1,13 \sqrt{\omega_{\text{уст}} / L}. \quad (16)$$

Сравнительная эффективность E_c при ограниченном количестве вариантов капитальных вложений

$$E_c = (C_1 - C_2) / (K_2 - K_1), \quad (17)$$

где C_1, C_2, K_1, K_2 – соответственно текущие затраты (себестоимость) и капитальные вложения по первому и второму вариантам, р.

Срок окупаемости $T_{ок}$ капитальных вложений

$$T_{ок} = K / (C_1 - C_2), \quad (18)$$

где K – капитальные вложения, р.

Общая экономическая эффективность $\mathcal{E}_{общ}$ капитальных вложений

$$\mathcal{E}_{общ} = \Pi / K, \quad (19)$$

где Π – годовая прибыль, р.

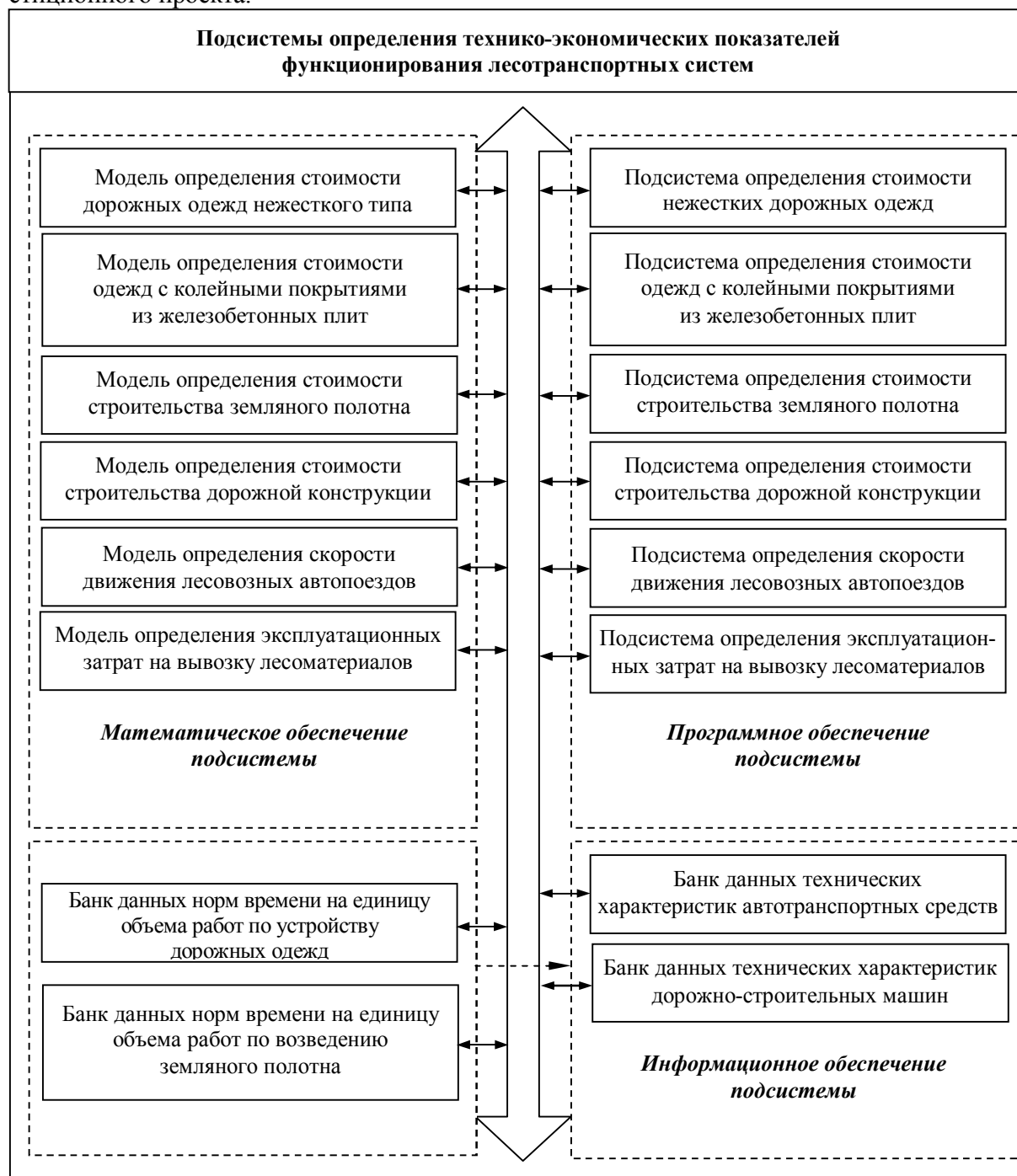
Для сравнения вариантов вместо абсолютных величин капитальных K , эксплуатационных C и приведенных S_{np} затрат применяются удельные показатели:

$$K_{y\partial} = K / Q_n; \quad C_{y\partial} = C / Q_n; \quad S_{y\partial} = S_{np} / Q_n. \quad (20)$$

Предлагаемые методика и математические модели определения стоимости лесовозной автомобильной дороги являются основой для разрабатываемых нами алгоритмов и компьютерных программ, реализующих подсистему определения технико-экономических показателей функционирования лесотранспортных систем (см. рис.) системы автоматизированного проектирования лесовозно-лесохозяйственных дорог (САПР-ЛЛД) [3].

Динамические методы оценки эффективности инвестиций основаны на учете фактора времени, т. е. изменении затрат и результатов в течение инвестиционного цикла и применяются при возможности прогнозирования объемов производства и реализации продукции, учета факторов риска и неопределенности. При этом определяются чистый

дисконтированный доход $ЧДД$, индекс доходности $ИД$, срок окупаемости $T_{ок}$ инвестиционного проекта.



Структура подсистемы определения технико-экономических показателей функционирования лесотранспортных систем

Выводы. Для решения данной задачи ведется разработка необходимых методик, математических моделей, алгоритмов и компьютерных программ. Написаны компьютерные программы, позволяющие выполнить расчеты на прочность нежестких и жестких дорожных одежд [3, 4], определить стоимость подготовительных работ, возведения земляного полотна из боковых резервов, строительства дорожных одежд низшего и пе-

реходного типов [1]. Продолжается разработка компьютерных программ для определения стоимости возведения земляного полотна другими способами и нежестких дорожных одежд облегченного и капитального типа.

Список литературы

1. Савельев, В. В. Обоснование типа и конструкций одежд лесовозных автомобильных дорог: дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.01 / В. В. Савельев. — Йошкар-Ола, 2006. — 516 с.
2. Курьянов, В. К. Совершенствование проектных решений сборных покрытий автомобильных дорог в системе автоматизированного проектирования / В. К. Курьянов, Д. Н. Афоничев. — Воронеж: ВГЛТА, 2000. — 180 с.
3. Савельев, В. В. Комплекс программ по автоматизированному расчету дорожных одежд нежесткого типа / В. В. Савельев // Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2006610216; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 10.01.2006.
4. Савельев, В. В. Система автоматизированного проектирования железобетонных плит для сборных и сборно-разборных колеиных покрытий автомобильных дорог / В. В. Савельев // Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2005612139; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 19.08.2005.

Статья поступила в редакцию 16.01.09.

V. V. Savelyev

**METHODOLOGY AND MATHEMATIC MODELS FOR DEFINING THE COST OF
TIMBER LOGGING ROADS CONSTRUCTION**

The necessity to develop mathematic models and programs for defining the cost of timber logging road construction is shown. Methodology and mathematic models for defining the cost of road base construction are given.

Key words: *logging roads, road base, mathematic models, cost of construction.*

САВЕЛЬЕВ Валерий Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры строительных конструкций и оснований МарГТУ. Область научных исследований – моделирование и оптимизация объектов сухопутного транспорта леса, автоматизированное проектирование лесовозных автомобильных и железных дорог; исследование напряженно-деформированного состояния покрытий из железобетонных плит. Автор более 50 публикаций.

УДК 626.5. 53/.54

В. П. Сапцин

УСЛОВИЯ ПЕРЕВОЗКИ ЛЕСНЫХ ГРУЗОВ В КАМЕРЕ ТРАНСПОРТНОГО НАКЛОННОГО СУДОПОДЪЁМНИКА

Рассмотрены габаритные размеры секций плота, судов для перевозки лесных грузов при известных габаритах подвижных камер транспортных наклонных судоподъёмников. Транспортировка лесных грузов зависит от глубины наполнения камеры в состоянии покоя и транзитной скорости её движения, режимов неравномерного движения камеры (времени разгона и торможения).

Ключевые слова: транспортные судоподъёмники, лесовозные баржи, плоты сортиментные и хлыстовые.

Введение. В Ангаро-Енисейском лесном комплексе (где впервые построен транспортный наклонный судоподъёмник Красноярского гидроузла) к речным водным путям тяготеет примерно 94% лесных запасов, как отмечается в работе [1]. По объёму перевозок лесных грузов в год в Енисейском пароходстве в 2,5 раза объём перевозок в плотах превышает объём перевозок в судах. Трасса наклонного транспортного судоподъёмника Красноярского гидроузла представлена на рис. 1 [2].

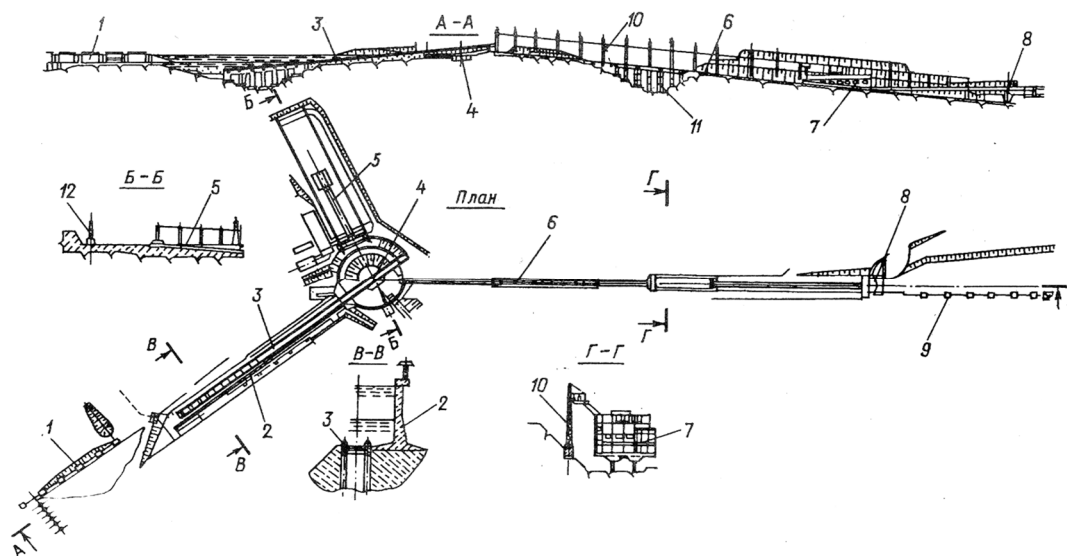


Рис. 1. Наклонный транспортный судоподъёмник Красноярской ГЭС:

- 1 – причал верхнего бьефа; 2 – волнозащитная стенка; 3 – верховые пути камеры; 4 – поворотное устройство; 5 – ремонтно-монтажная площадка; 6 – низовые пути камеры; 7 – судовозная камера; 8 – голова полушлюза; 9 – причал нижнего бьефа; 10 – монтажная сеть и опоры; 11 – эстакада; 12 – козловый кран

При спуске камеры используется режим динамического торможения, т. е. работа гидромоторов в режиме насосов, а работа двигателей в режиме генераторов. Происходит рекуперация электроэнергии в сеть. Возвращается около 25...30 % энергии, затраченной на подъем [2]. Скорость спуска камеры так же, как и при подъеме – 0,33 м/с, что составляет 25% проектной [6], это еще раз подчеркивает безотходность технологического процесса.

Судовозная камера судоподъемника Красноярской ГЭС представляет собой комплекс сложных систем, обеспечивающих перевозку транспортируемых грузов из бьефа в бьеф.

На рис.1 предусмотрен третий участок судовозных путей – стапельный (5, ремонтно-монтажная площадка) для отстоя судовозной камеры в зимний период и осуществления межнавигационного ремонта. При увеличении грузооборота этот участок может служить для возможности разъезда при эксплуатации на трассе двух судовозных камер.

Цель настоящей работы – рассмотреть условия поведения лесных грузов (секций плотов) в камере транспортного наклонного судоподъемника (применительно к камере транспортного судоподъемника Красноярского гидроузла) при различных режимах её движения.

Камера транспортного судоподъемника Красноярского гидроузла была рассчитана на транспортировку лесовозной баржи, имеющей наибольшие габаритные размеры, для случая экстренной ситуации при отключении электроэнергии при движении камеры вверх по наклонному пути [4]. Рассмотрим, как ведет себя лесовозная баржа в эксплуатационных условиях. Для достижения поставленной цели рассмотрим дифференциальное уравнение продольного перемещения судна [5, 6], незакрепленного швартовными тросами к стенкам камеры (аналогия – секция плота).

Амплитуды колебаний уровня воды у передней и задней торцевых стенок в свободной от судов камере судоподъемника рассмотрены в работах [5,6] при движении камеры с постоянным ускорением (замедлением) ($j_x \equiv const$). Для периода разгона при вычислении амплитуды колебаний уровня воды у стенок камеры можно воспользоваться линейным приближением волновых колебаний. Воспользуемся графо-аналитическим методом расчета (рис. 2,а) [5].

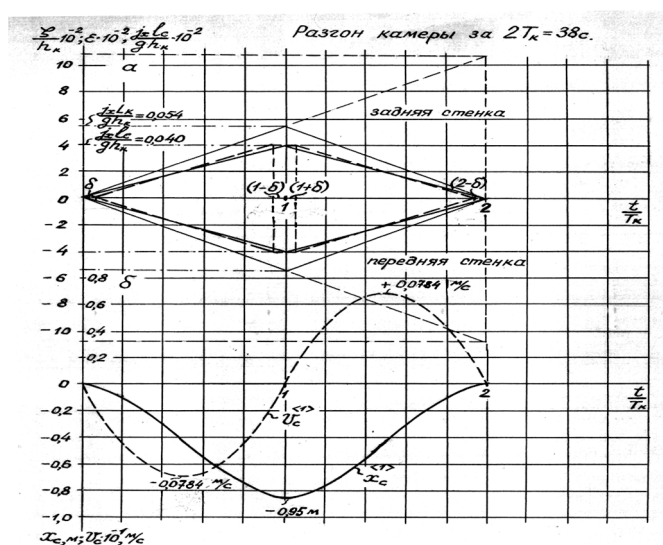


Рис. 2. Параметры транспортировки лесных грузов в барже:

а – амплитуды волн у торцевых стенок камеры; б – скорость и перемещение баржи

Линейное приближение позволяет просмотреть волновую картину, возникающую в камере и оценить волновое воздействие на транспортируемое судно (секцию плота). Колебательные процессы в камере при разгоне и торможении могут решаться независимо, так как к моменту торможения судовозной камеры колебания, возникающие в процессе разгона, вследствие трения и достаточной протяженности участка равномерного движения полностью затухают. Задняя и передняя торцевые стенки для наглядности совмещены на одной оси ординат: положительная волна возмущения – у задней стенки, отрицательная – у передней стенки (Красноярский судоподъемник – с продольной компоновкой расположения камеры).

На рис. 2,а представлены в безразмерном виде амплитуды воды у задней и передней торцевых стенок камеры (сплошная линия), амплитуды волн у оконечностей судна (пунктирная линия); волна, возникающая у задней стенки, будет воздействовать на оконечность судна спустя δT_k , с:

$$\delta = \frac{L_k - \ell_c}{2L_k} \quad (\text{обычно } \delta \ll 1) \quad (1)$$

$$T_k = \frac{L_k}{c_k}, \quad (2)$$

где L_k – габаритная длина камеры (в Красноярском судоподъемнике 87,7 м; в связи с устройством противопожарных резервуаров); $c_k = \sqrt{gh_k}$ – скорость распространения волны возмущения в свободной от судов камере, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с²; h_k – глубина воды в камере в начальный период времени в состоянии покоя, м; ℓ_c – приведенная длина судна. Для длины камеры Красноярского судоподъемника при глубине 2,2 м $T_k \cong 19$ с, $\delta T_k \cong 1,0$ с. Пренебрежем величиной δ , считая, что на оконечность судна сразу воздействует волна повышения, а на противоположную оконечность судна – волна понижения; противодействие этих волн равно удвоенной их амплитуде (сплошная линия). Наиболее удачным эксплуатационным режимом движения камеры при трапециевидном графике набора скорости будет выбор времени разгона камеры кратным целому числу периодов колебаний в камере, свободной от транспортируемых тел [5, 6]. В работе [7] период колебаний незакрепленных тел очень близок к периоду колебаний воды в свободной от судов камере (практически совпадает). Воспользуемся этим обстоятельством и оценим поведение незакрепленной баржи в период разгона. Наиболее быстрым эксплуатационным режимом будет время разгона, примерно равное $T_p = 2T_k \approx 38$ с. Продольные перемещения незакрепленного судна в период разгона могут быть записаны в следующем виде:

$$M_c \frac{d^2 x_c}{dt^2} = -M_c j_x + \rho g \omega_c [\zeta(x_1, t) - \zeta(x_2, t)], \quad (3)$$

где M_c – масса судна; x_c – продольные перемещения судна; j_x – горизонтальная составляющая ускорения камеры; ρ – плотность воды; ω_c – площадь поперечного сечения погруженной части судна; $\zeta(x, t)$ – амплитуды колебаний у оконечностей судна; t – время.

Оси координат расположены у задней торцевой стенки в состоянии покоя камеры; ось Z – вертикально вверх; ось X – по направлению движения камеры. Для простоты рассуждений, волны, действующие на оконечности судна, сразу оказывают воздействие на поперечное сечение судна, а торцевые стенки камеры как бы «отодвигаются».

Начальные условия нулевые:

$$t = 0; \quad V_c = \frac{dx_c}{dt} = 0; \quad x_c = 0. \quad (4)$$

$$F_\zeta = \begin{cases} \rho g \omega_c \left(\frac{2 j_x l_c}{g} \right) \frac{t}{T_k} & 0 < t < T_k \\ \rho g \omega_c \left(\frac{2 j_x l_c}{g} \right) \frac{(2 T_k - t)}{T_k} & T_k \leq t \leq 2 T_k \end{cases} \quad (5)$$

Граничные условия при принятии гипотезы пренебрежения величиной δ .

Проинтегрируем уравнение (3) за весь период разгона. Судно начинает перемещаться по инерции к задней торцевой стенке камеры, препятствует этому перемещению суммарная волновая сила, возникающая при разгоне камеры.

Максимальная скорость при $t = \frac{T_k}{2}$ будет:

$$V_x = -\frac{V_x}{8} K_1, \quad (6)$$

где V_x – горизонтальная составляющая скорости движения камеры при равномерном движении, м/с; $K_1 = 1 + 2\delta$ – поправочный коэффициент при оценке скорости судна с учетом параметра δ . Наибольшая скорость судна с другим знаком будет при $t = \frac{3T_k}{2}$:

$$V_x = +\frac{V_x}{8} K_1 \quad (7)$$

Максимальное перемещение незакрепленного судна также будет направлено к задней торцевой стенке камеры и составляет величину при $t = T_k$

$$x_c = -\frac{V_x T_k}{12} K_2, \quad (8)$$

где $K_2 = 1 + 2\delta - \frac{9}{2}\delta^2$ – поправочный коэффициент по перемещению судна с учетом параметра δ .

Перемещение незакрепленной баржи при $t = 2T_k$ равно нулю, поскольку на оконечности баржи волновых воздействий не происходит, вода будет в состоянии покоя. На рис.2,б для иллюстрации вышеприведенных зависимостей дан пример расчета транспортировки незакрепленной лесовозной баржи за период разгона $T_p = 2T_k \cong 38$ с при скорости движения $V_0 \cong V_x \cong 20 \text{ м/мин} \cong 0,33 \text{ м/с}$; ускорение $j_x \cong 0,0087 \text{ м/с}^2$; наклон

рельсовых путей 1:10 ($\operatorname{tg} \theta = 0,1$); $h_k = 2,2$ м; длина судна $\cong 78$ м; осадка судна 1,86 м; $g' \cong g$; $K_1 = 1,110$; $K_2 = 1,095$.

При волновых условиях, соответствующих другим благоприятным волновым эксплуатационным условиям разгона камеры (соответственно торможения), за $4T_k$, $6T_k$, $8T_k$ и $10T_k$ получены соответствующие зависимости, сведенные в табл. 1.

Следует отметить, что при времени разгона камеры более, чем за $2T_k$, приведенные в табл. 1 итоговые формулы создают «щадающие» условия как для амплитуды волн в камере, так и для перемещений судна (секции плота), однако это удлинит цикл судопропуска (лесопропуска). Эти же зависимости можно использовать и при торможении камеры, картина будет повторяться в зеркальном отображении, знаки поменяются на противоположные.

Т а б л и ц а 1

Максимальные скорости и перемещения лесовозной баржи при разгоне

Время разгона камеры T_p , с	Максимальная скорость $V_x(\frac{1}{2}T_k, \frac{3}{2}T_k)$, м/с	Максимальное перемещение $x_c(T_k)$, м
$2T_k$	$\mp \frac{V_x}{8} K_1$	$-\frac{V_x T_k}{12} K_2$
$4T_k$	$\mp \frac{V_x}{16} K_1$	$-\frac{V_x T_k}{24} K_2$
$6T_k$	$\mp \frac{V_x}{24} K_1$	$-\frac{V_x T_k}{36} K_2$
$8T_k$	$\mp \frac{V_x}{32} K_1$	$-\frac{V_x T_k}{48} K_2$
$10T_k$	$\mp \frac{V_x}{40} K_1$	$-\frac{V_x T_k}{60} K_2$

В работе [3] Г. Ф. Онопченко (табл. 2) сделал ряд ценных предложений по увеличению грузооборота Красноярского судоподъемника путем использования штатных рейдовых буксиров (судов-толкачей) при значительных затратах времени на ввод и вывод судов (примерно 66 мин) и за счет небольшой реконструкции акватории (устройства дополнительных причалов).

По мнению Г. Ф. Онопченко, «время полуцикла может быть сокращено на 1 ч., что увеличит пропускную способность судоподъемника примерно на 150 тыс. т». Оценим, будет ли изменяться время полуцикла в связи с нашими предложениями при движении судовозной камеры из бьефа в бьеф.

Таблица [6] дополнена 2 и 3 расчетными примерами.

В графе 5 в примерах 2 и 3 табл. 2 добавлено время на вход камеры в воду и выход из нее (вход – 6 мин, выход – 5 мин), при неизменных параметрах (графы 4,6,7 табл.2), при этом сокращается время полуцикла при тех скоростях движения примерно на 30 мин, а если увеличить скорость движения камеры в перспективе до 0,5 м/с, то сокращение времени полуцикла сократится на 58 мин.

Таким образом, полученные результаты, сведенные в табл. 1, отражают новизну и, по сравнению со штатным расписанием движения судовозной камеры транспортного наклонного судоподъемника Красноярской ГЭС (табл. 2) из бьефа в бьеф, – сокращается время полуцикла.

Т а б л и ц а 2

Время полуцикла на судопропуск в Красноярском судоподъемнике

№п/п	величина равномерной скорости движения судовозной камеры	время полуцикла на судопропуск, мин	В том числе по операциям судопропуска, мин			
			ввод и швартовка судов, мин	движение СК из бьефа в бьеф, мин	разворот поворотн. устройств. (ПУ), мин	расшвартовка и вывод судна из СК, мин
1	2	3	4	5	6	7
1	20 м/мин (0,33 м/с), $h_k = 1,5 м$ ([6], 1986), (нормы 1988 г.)	206	46	121	19	20
2	20 м/мин (0,33 м/с), $h_k = 2,2 м$, разгон и торможение камеры $T_p = T_m \approx 38с$	176	46	91	19	20
3	30 м/мин (0,5 м/с), $h_k = 2,2 м$, разгон и торможение камеры $T_p = T_m \approx 38с$	148	46	63	19	20

Плот – это однорейсовая лесотранспортная единица, состоящая из отдельных сплоченных единиц (секций), изготовленная в соответствии с техническими условиями и отвечающая требованиям данного бассейна и потребителя. Плоты по виду транспортируемых материалов разделяются – на сортиментные, хлыстовые и комбинированные.

Рассмотрим сортиментный плот, состоящий из пучков и имеющий гибкую конструкцию как в продольном, так и в поперечном направлении, буксируемый по Енисею, включая зону Красноярского водохранилища. Для транспортировки секций плота в камере с габаритами 87,7х18х2,2 м необходимо подобрать габаритные размеры секции. Зависимость по выбору габаритов камеры наклонного судоподъемника при известных размерах судна получена в работе [4], применим её для оценки габаритных размеров секции плота:

$$L_k = L_c + 0,5\varepsilon\ell_c, \quad (9)$$

где L_c – габаритная длина секции плота; $\varepsilon = \frac{V_x}{\sqrt{gh_k}}$ – безразмерный параметр; ℓ_c – приведенная длина секции плота, $\ell_c = W/\omega_c$.

Из формулы (9), при коэффициенте полноты мидельшпангоута секции плота $\beta \approx 1$ и $\rho_{др.} \approx \rho$, получим зависимость габаритной длины секции плота:

$$\ell_c \approx \frac{L_k}{(1 + 0,5\varepsilon)} \quad (10)$$

Здесь $\rho_{др.}$ – плотность древесины с учетом такелажа, кг/м³, ρ – плотность воды, кг/м³.

При скорости равномерного движения камеры $V_0 \cong V_x = 0,5$ м/с длина секции плота будет 83,2 м, при скорости в 0,67 м/с – 81,9 м. Глубина воды 2,2 м, тогда из [4] по рекомендации для плоскодонных судов осадка секции плота 1,8...1,9 м, т.е. $s \cong h_k / 1,2$. Здесь s – осадка секции плота.

В Красноярском гидроузле плоты (сортиментные и хлыстовые) могут транспортироваться из зоны водохранилища в нижний бьеф гидроузла до Маклаково на лесопромышленный комплекс. Озерно-речные плоты Енисейского бассейна относятся к разряду О, поскольку их транспортировка осуществляется по Красноярскому, Саяно-Шушенскому водохранилищам, включая зону затопления Богучанской ГЭС. Волноустойчивость плотов определяется наиболее тяжелыми ветро-волновыми условиями и рассчитана на высоту волны 1,5...2,0 м.

Габаритные размеры секции плота приведены на рис. 3.

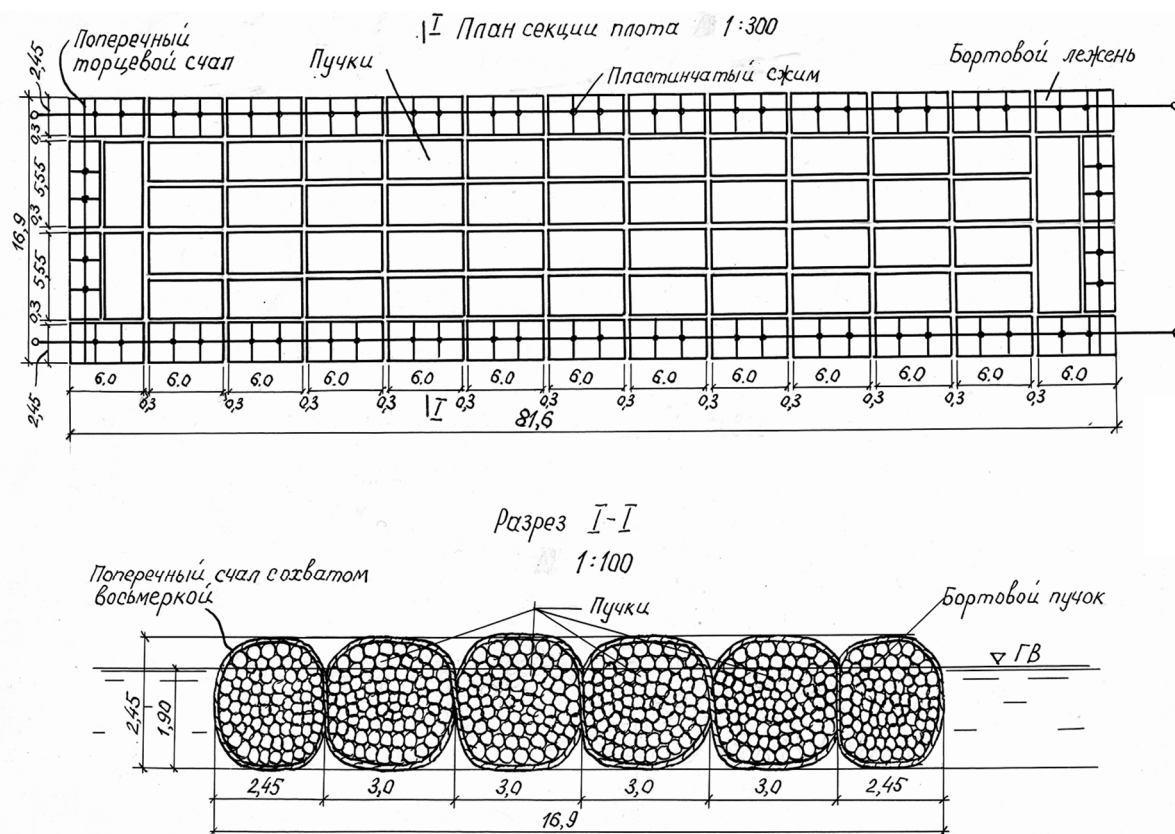


Рис. 3. Секция сортаментного плота для Красноярского судоподъемника

Секция плота будет состоять из 78 пучков, из них 70 пучков – с продольным направлением, 8 торцевых – имеют поперечное направление (примерная длина пучка 6 м), секция с оплотником; расстояние между пучками примерно (0,3...0,5) м. Тогда длина секции плота $13 \times 6 + 0,3 \times 12 \cong 81,6$ м. Пользуясь зависимостями табл. 1 при разгоне

камеры за $2T_k \cong 38$ с, секция плота имеет скорость и величину перемещения, аналогично рис. 2,б.

Продольные перемещения секции плота при скорости равномерного движения камеры 40 м/мин ($\cong 0,67$ м/с) (при расчете на перспективу) достигнут величины $-1,13$ м, по направлению к задней торцевой стенке камеры; затем секция плота будет перемещаться в обратном направлении в пределах камеры транспортного судоподъемника и спустя $\cong 38$ с она придет в центральное положение, где находилась перед началом движения камеры. При этом скорость движения секции плота будет примерно $(-0,09$ м/с) при времени примерно $(9,5...10)$ с, а затем $(+0,09$ м/с) при времени $(28,5...29)$ с. Поправочные коэффициенты: $K_1 \cong 1,07$; $K_2 \cong 1,065$.

В целом плот состоит из 15 секций: 5 секций по длине $81,6 \times 5 + 4 \times 0,5 = 410$ м и 3 секций по ширине $16,9 \times 3 + 2 \times 0,3 = 51,3$ м. Коэффициент полндревесности сортиментных пучков в среднем $K_{по} \cong 0,42$. Тогда водоизмещение секции $0,42 \times 81,6 \times 16,9 \times 1,9 \cong 1100,5$ м³. Объем плота $W = 16507,5$ м³.

В Марийском государственном техническом университете сконструирована модель наклонного транспортного судоподъемника с поперечной компоновкой в масштабе 1:25 предположительно для Богучанского гидроузла (рис.4) при моделировании по законам гравитационного подобия (по критерию Фруда).

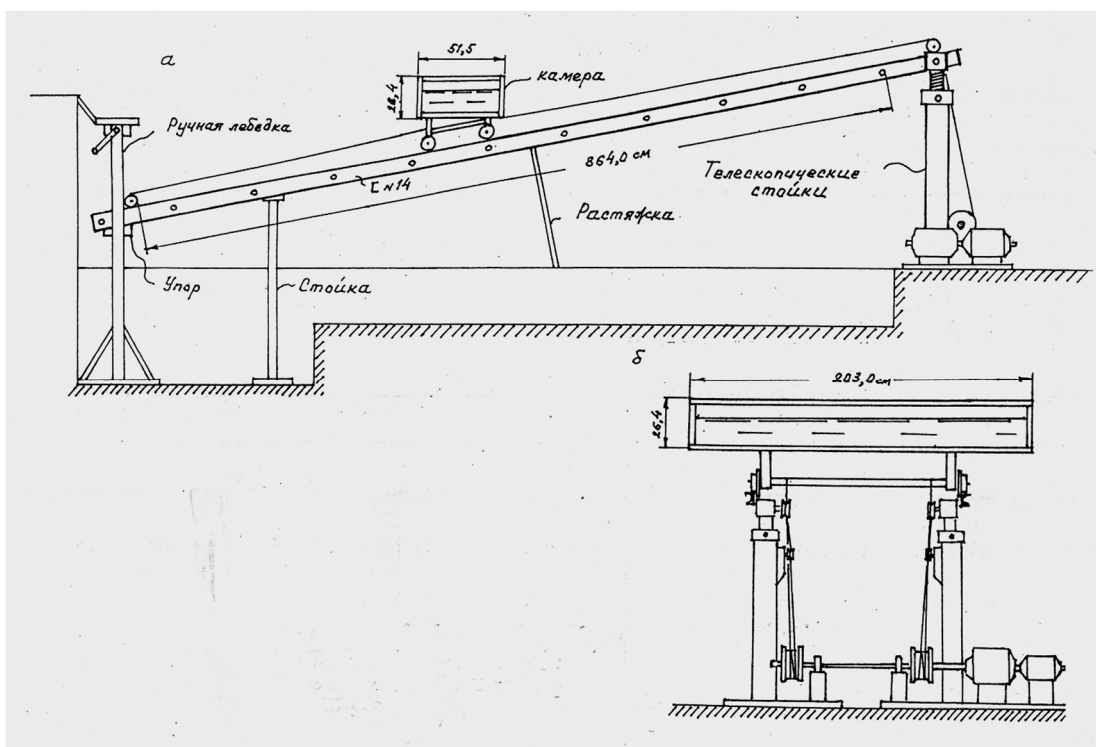


Рис. 4. Модель транспортного судоподъемника с поперечной компоновкой:

а – общий вид установки; б – привод камеры

Модель представляет собой камеру из стекла, размерами $2,0 \times 0,48 \times 0,25$ м. Перемещается камера с помощью четырех колес с ребрами по рельсовому пути из швеллера №14, имеющему длину около 10 м. Наклонные пути для передвижения камеры имеют возможность менять уклон от 1:3 до 1:8 с помощью специальной ручной лебедки.

Опорой для начальных участков рельсовых путей служат телескопические стойки, способные поднимать или опускать рельсы на величину до 50 см и изменять уклон рельсовых путей.

Привод модели камеры тросовый фуникулерного типа. Два троса, соединенные с камерой, наматываются на барабаны (рис.4,б), диаметр которых 11 см, ширина барабана между ребрами 8 см. Барабаны жестко насажены на горизонтальную ось червячного редуктора с передаточным числом 1:20. Входной вал редуктора соединен с валом электродвигателя постоянного тока мощностью 760 Вт (МИ 32 ФТ).

Для измерения скорости движения модели камеры использовался встроенный в один корпус с МИ 32 ФТ электродвигатель постоянного тока СЛ – 221, питаемый напряжением 110 В, с фиксацией его показаний на шлейф осциллографа. Датчик тарировался по времени прохождения камерой при равномерном движении строго фиксированного участка пути длиной 102,5 см электросекундомером ПВ-53 Щ с ценой деления 0,01 с.

Исследовались режимы движения модели камеры, близкие к трапециедальному графику изменения ее скорости, включая мгновенную остановку камеры и эксплуатационные условия, как в свободной камере от транспортируемых тел, так и при наличии секции плота. Уклоны 1:6; 1:4,35; 1:4,03. Модель судоподъёмника с поперечной компоновкой позволяла изменять скорость равномерного движения камеры до 1,3 м/с для натуры. Мгновенная остановка камеры осуществлялась путем обесточивания электродвигателя при движении модели камеры вверх по наклонному пути. Для эксплуатационных режимов движения модели камеры возникла необходимость варьировать временем неравномерного движения (разгона и торможения). В принципиальную схему привода камеры был включен таймер – формирователь временных сигналов (ФВС), позволяющий ограничивать время разгона (или начало торможения) с дискретностью 0,05 с. Приведем некоторые результаты экспериментальных испытаний. На рис. 5 представлены результаты исследований в свободной от транспортируемых тел камере при мгновенной остановке модели камеры и их сопоставление с линейной теорией волновых колебаний.

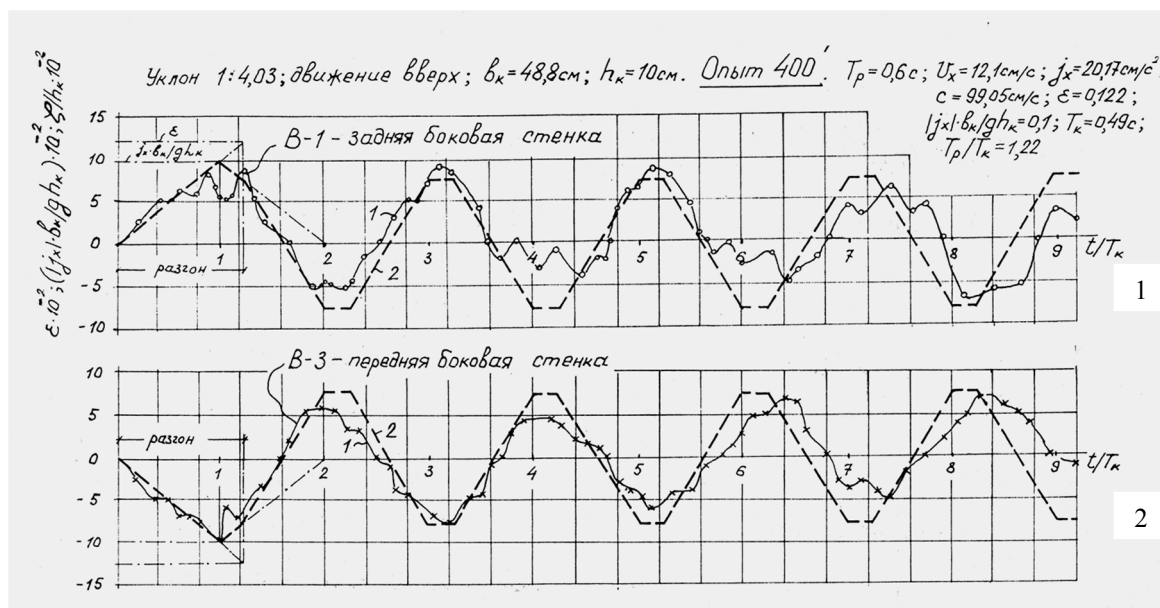


Рис. 5. Результаты модельных испытаний при мгновенной остановке камеры:
1 – опытные данные; 2 – линейная теория

Амплитуды колебаний волн у боковых стенок при эксплуатационных режимах движения камеры представлены на рис. 6.

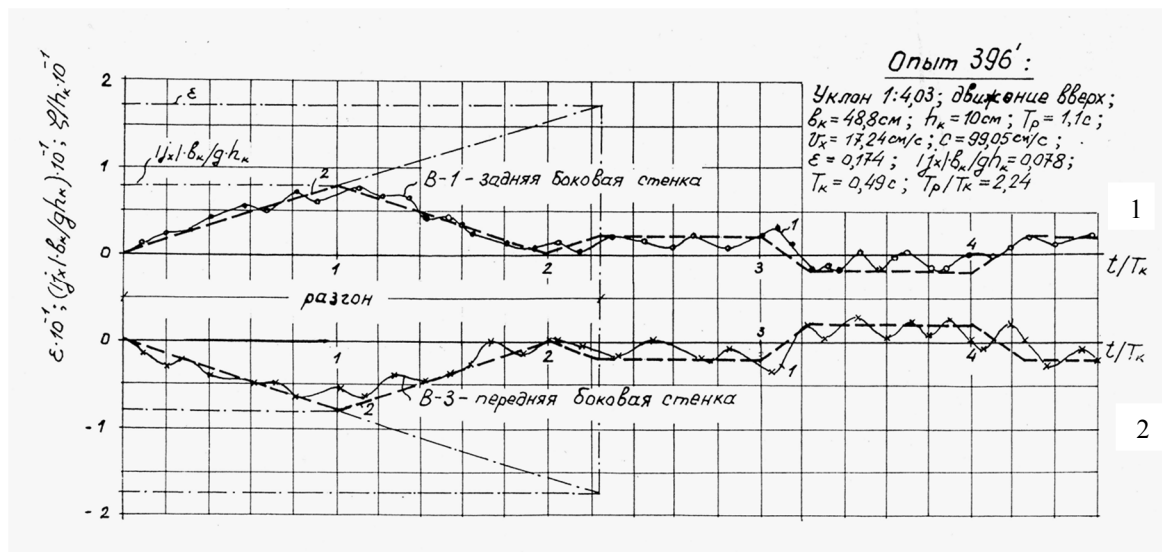


Рис. 6. Колебания воды в камере поперечного судоподъемника:

1 – опытные данные; 2 – линейная теория

Судовозная камера предназначена для транспортировки судов грузовых и пассажирских, лесных грузов в плотях. Смоделированы сортиментные плоты, имеющие гибкую конструкцию как в поперечном, так и в продольном направлении. Секция плота не закреплялась к стенкам камеры, имела центральное положение. Результаты модельных исследований приведены на рис. 7.

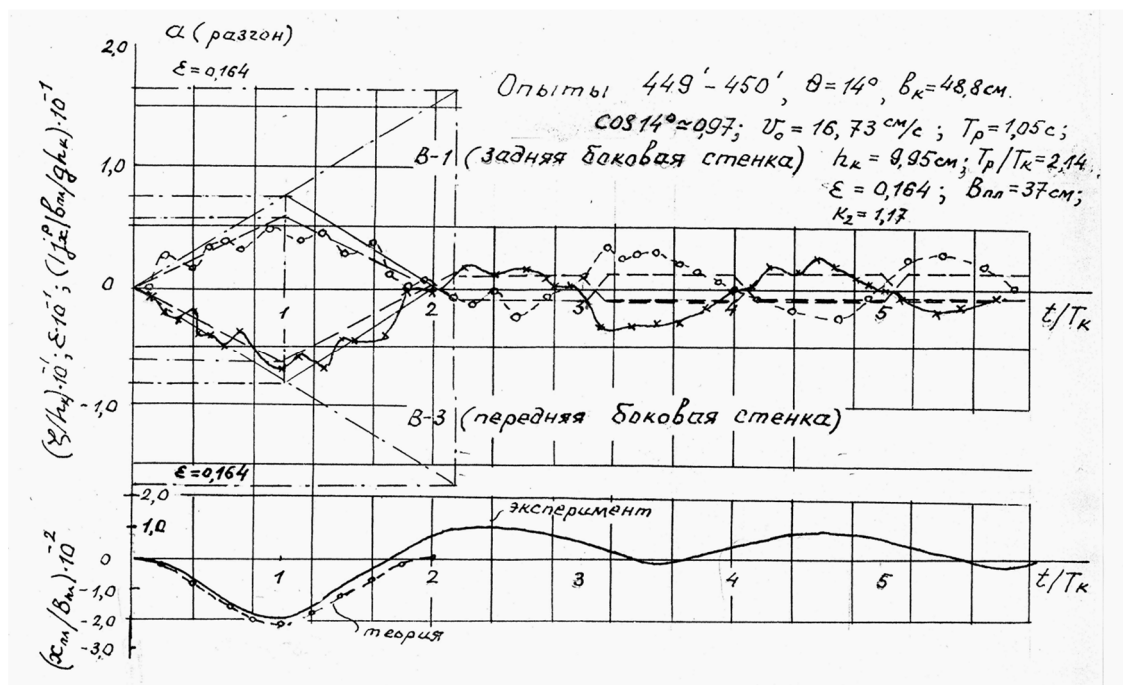


Рис. 7. Результаты модельных исследований в поперечном судоподъемнике по перемещениям секции плота: сплошная линия – эксперимент; пунктирная линия – теория.

Здесь $x_{пл}$ – перемещение секции плота по направлению движения модели камеры,

$B_{пл}$ – ширина секции плота

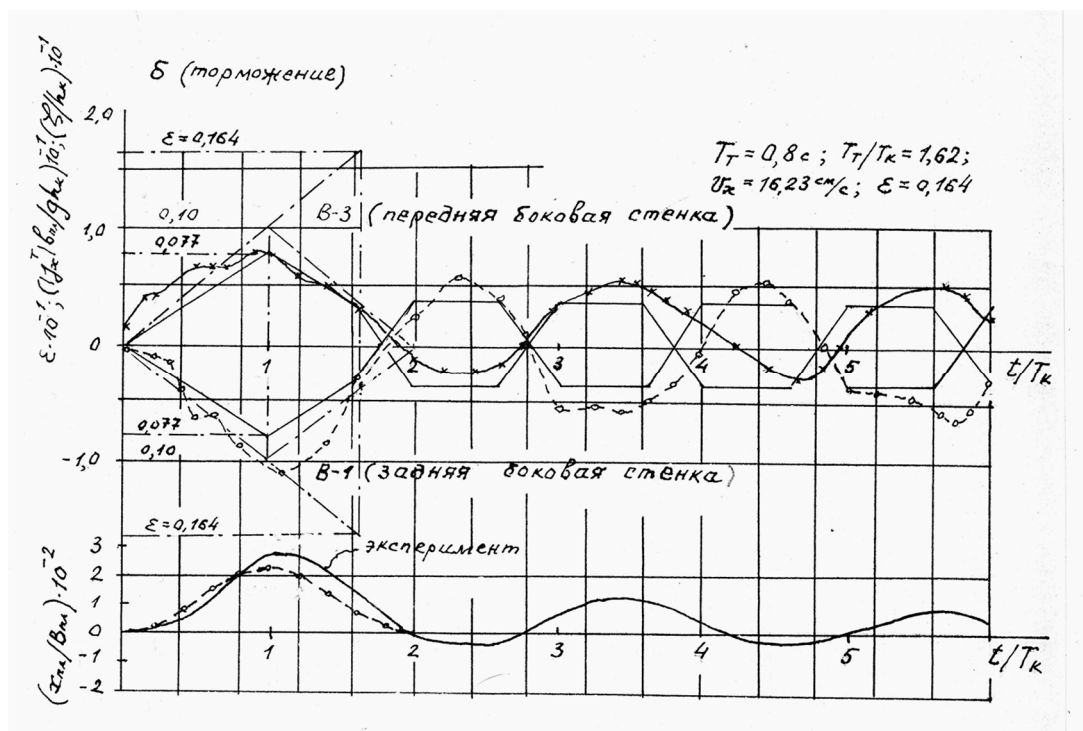


Рис. 7. Окончание

В первом приближении можно воспользоваться результатами табл. 1 при оценке перемещений секции плота. В период торможения (опыты 449'...350') свободная поверхность воды не имела горизонтальной плоскости (у передней боковой стенки наблюдается небольшой подъём воды), поэтому имеются некоторые расхождения между опытом и теорией (до 15%).

Однако расчаливать плот нужно легкими тросами с провисом по типу цепной линии во избежание возможного смещения транспортируемой секции из центрального положения перед началом движения камеры судоподъёмника, например, от ветра. Очень важно, чтобы усилия в тросах не выбили лесовозную баржу или секцию плота из фазы связанных колебаний воды в камере, возникающих при разгоне или торможении камеры наклонного транспортного судоподъёмника.

Рассмотрены пучковые сортиментные плоты, рассчитанные на наилучшее использование камеры Красноярского судоподъемника при глубине 2,2 м и имеющие наибольшие габаритные размеры секции. В процессе эксплуатации представляется возможным использовать плоские сплотивные секции плотов Архангельского государственного технического университета [1], (хлыстовые плоты) или вернуться к заводочному устройству при вводе (выводе) секций плотов в камеру.

Выводы

1. Рассмотрены вопросы транспортировки лесных грузов в судах или секциях плота в подвижной камере транспортного наклонного судоподъёмника, которые могут быть полезны эксплуатационному персоналу Красноярского судоподъёмника, так как обеспечивают наиболее благоприятные условия для транспортировки лесных грузов, полностью осуществляют защиту окружающей среды и исключают возможность загрязнения водных акваторий бьефов.

2. В системе управления движением камеры судоподъемника необходимо предусмотреть таймер, который путем отключения скорости в период неравномерного режима

разгона привода камеры (и наоборот, включения ФВС при торможении камеры) позволит создать благоприятные гидродинамические условия при эксплуатационных режимах. Хотелось бы отметить, что выбор эксплуатационных режимов неравномерного периода движения камеры наклонного судоподъемника играет существенную роль в повышении пропускной способности транспортного сооружения в целом. Такая проверка была осуществлена в лабораторных условиях в МарГТУ на крупномасштабной модели поперечного судоподъемника (1:25) с помощью таймера, формирователя временных сигналов (ФВС) и показала удовлетворительные результаты.

Список литературы

1. Воробьев, В. В. Проблемы водного транспорта леса и технического содержания рек / В. В. Воробьев, А. А. Митрофанов, М. О. Соколов // ИВУЗ: Лесной журнал. – 2002. – №1. – С. 74–79.
2. Лохматиков, Г. П. Судоподъемники / Г. П. Лохматиков, М. А. Колосов, С. В. Селезнев: Под ред. М. А. Колосова. – СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отделение, 1998. – 344 с.
3. Онинченко, Г. Ф. Анализ условий пропуска судов через Красноярский судоподъемник / Г. Ф. Онинченко // Сб. научн. тр. Гидропроекта. Вып 132: Гидравлика водосбросных и водопропускных сооружений гидроузлов. – М., 1988. – С. 71–76.
4. Атавин, А. А. Обоснование габаритных размеров камеры наклонных судоподъемников из условия их безаварийной эксплуатации / А. А. Атавин, В. П. Сапцин // Безопасность речных судоходных гидротехнических сооружений: Мат. международной научно-практической конференции. Книга II. – СПб.: СПГУВК, 2008. – С. 57–72.
5. Атавин, А. А. Исследования гидродинамических процессов, возникающих при работе судоподъемника Красноярского гидроузла / А. А. Атавин, О. Ф. Васильев, В. П. Сапцин // Тр. Гидропроекта. 1978. – № 62. – С. 100–132.
6. Атавин, А. А. Гидродинамические процессы в водопропускных сооружениях / А. А. Атавин, О. Ф. Васильев, А. П. Яненко. – Новосибирск: ВО «Наука», Сибирская издат. фирма, 1993. – 101 с.
7. Сапцин, В. П. Частотные характеристики плавающих тел в камере лесосудопропускного сооружения / В. П. Сапцин // Научно-метод. тр. фак-та природообустройства и водных ресурсов. Вып.1. – Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 1999. – С. 27–31.

Статья поступила в редакцию 15.09.08

V. P. Saptsin

CONDITIONS FOR FOREST LOADS TRANSPORTATION IN THE COMPARTMENT OF A TRANSPORT INCLINED PLANE

Overall dimensions of raft sections, vessels for forest load transportation when knowing the dimensions of transport inclined plane movable compartments are considered. Forest loads transportation depends on the depth of the compartment filling at rest and transit speed of its movement, modes of the compartment uneven movement (time for acceleration and slowdown).

Key words: *transport inclined planes, forest carrying barges, shortwood and longwood rafts.*

САПЦИН Валерий Петрович – доктор технических наук, профессор кафедры водных ресурсов МарГТУ. Область научных интересов – гидродинамические процессы в замкнутых акваториях, волновые процессы, проектирование и безопасность гидротехнических сооружений, включая речные судоходные гидротехнические сооружения. Автор более 100 работ.

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

УДК 581:502

О. Л. Воскресенская

ДИНАМИКА РОСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ И НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОНТОГЕНЕЗЕ ПОДРОЖНИКА БОЛЬШОГО В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Приведены результаты исследований морфометрических показателей, содержания и накопления тяжелых металлов свинца, кадмия, цинка и меди в онтогенезе подорожника большого, произрастающего в городе Йошкар-Оле, с различной степенью антропогенной нагрузки. Показано, что растения, произрастающие на загрязненных территориях, имеют более низкие показатели ростовых характеристик, биомассы и более высокие содержания тяжелых металлов, изменяющиеся в процессе онтогенеза растений.

Ключевые слова: подорожник большой, возрастное состояние, свинец, кадмий, медь, цинк, биомасса.

Введение. Одной из важнейших задач эколого-физиологических исследований является разработка представлений о взаимодействии растений со средой обитания в процессе онтогенеза. Несмотря на продолжительную историю изучения возрастной изменчивости растений, до сих пор не сформулированы общие принципы определения физиологического возраста для различных видов и отсутствует единая шкала, на основе которой возможна их сравнительная характеристика по данному признаку. Имеющиеся в литературе сведения о воздействии антропогенного загрязнения на растения обсуждаются преимущественно в аспекте их связи с вариациями физиологического возраста [1]. В то же время имеются четкие морфологические критерии выделения возрастных онтогенетических состояний для растений практически всех биоморф, разработанные авторами [2]. При этом исследования физиологоадаптационного процесса у растений различного возрастного состояния, толерантность видов по отношению к экологическим и антропогенным факторам, выделение морфофизиологических признаков маркеров уровня загрязнения среды базируются на концепции дискретного описания онтогенеза [2–6]. Рост является интегральным процессом, результирующим многие фи-

зиологические процессы, протекающие в растительном организме. Рост зависит от этапов онтогенеза, одним из проявлений которого он сам является. Количественные проявления роста всегда сопровождаются более или менее глубокими качественными изменениями формы, строения, физико-химического состояния или химического состава организма и его частей. В онтогенезе растений ростовые процессы протекают непрерывно, но с различной интенсивностью во времени и в разных частях организма [7].

Все факторы, влияющие на онтогенез растений в присутствии тяжелых металлов, можно разбить на две группы. Первая – «почвенная» составляющая, вторая – собственно физиологические свойства растений. Многие растения, в том числе и подорожник большой, адаптированы к высоким концентрациям токсических веществ в почве, атмосфере и активно накапливают их в своих тканях без видимого ущерба для своей жизнедеятельности. При поступлении избыточного количества металлов через корни растения начинают работать защитные механизмы неспецифической природы. По отношению к разным тяжелым металлам защитные возможности растения проявляются неодинаково, например, свинец, цинк, медь задерживаются в корнях, кадмий сравнительно легко проникает в надземные органы.

Другим источником металлов для растений служит загрязненный воздух. Попадающие из атмосферного воздуха на листья соединения металлов частично проникают внутрь тканей в результате пассивной диффузии или активного транспорта, частично остаются в виде поверхностного отложения, что зависит от особенностей поверхности листа и его морфологии [8]. Разницу в содержании тяжелых металлов исследуемыми видами можно объяснить неодинаковой подвижностью тяжелых металлов в почвах, а, следовательно, неодинаковой доступностью для растений, а также неодинаковой способностью растений поглощать разные тяжелые металлы.

В целом загрязнение биологических объектов тяжелыми металлами промышленного и автотранспортного происхождения носит комплексный характер [9]. Тяжелые металлы взаимодействуют как друг с другом, образуя физиологически активные пары, так и с другими загрязнителями (газообразными и жидкими) и оказывают совместное и избирательное действие на процессы метаболизма и физиологию растений.

Цель исследования состояла в определении морфометрических показателей, биомассы и содержания тяжелых металлов в онтогенезе подорожника большого, произрастающего в условиях антропогенного загрязнения.

Объекты и методы. Исследования проводились в городе Йошкар-Оле в районах с различной степенью антропогенного загрязнения: условно чистое местообитание – территория ООПТ «Сосновая роща»; загрязненный район (промышленная зона города) – вблизи заводов «Искож», «Марбиофарм» и крупных автомагистралей с высоким уровнем движения автотранспорта.

Объектом исследования выбран подорожник большой (*Plantago major* L.), исследования его биометрических показателей проведены в прегенеративном (j, im, v) и генеративном (g₁, g₂) периодах онтогенеза. В качестве количественных критериев оценки ростовых характеристик были выбраны высота растения, длина черешка, количество листьев, длина и ширина листовой пластинки, а также увеличение биомассы.

В растительных образцах анализировали содержание тяжелых металлов: меди – фотометрическим методом с диэтилдитиокарбаматом; цинка – фотометрически с дитизоном, кадмия и свинца методом инверсионной вольтамперометрии [10,11]. Содержание ионов металлов рассчитывали в миллиграммах на килограмм сухой массы (мг·кг⁻¹). Для характеристики процессов передвижения химических элементов использовали коэффициент передвижения (Кп), равный отношению содержания элементов в листьях к таковому в корнях [12].

Статистическую обработку данных проводили с помощью программы «STATISTIKA 6.0». Достоверность различий обсуждалась при 5% уровне значимости.

Результаты и их обсуждение. Морфометрические показатели и накопление биомассы в онтогенезе подорожника большого в благоприятных условиях произрастания (ООПТ «Сосновая роща») приведены в табл. 1 и на рис. 1. При переходе растений от одного возрастного состояния к другому происходило постепенное увеличение высоты надземной части растений. Средневозрастные генеративные растения подорожника большого (27,6 см) были в 6 раз выше ювенильных растений (4,6 см). Каждое возрастное состояние характеризовалось увеличением высоты растений от 15 до 33%.

В процессе роста подорожника большого происходило также и увеличение количества листьев. В каждом возрастном состоянии наблюдалось прибавление 1–2 новых листьев, в целом количество листьев от ювенильных до средневозрастных генеративных растений увеличилось от 3,5 до 9,3 штук на особь. Ширина и длина листовых пластинок также увеличивались и к концу наблюдений у средневозрастных генеративных особей составили 6,7 и 10,7 см, что было больше в 3 раза по сравнению с ювенильными особями.

Т а б л и ц а 1

Морфометрические показатели и накопление биомассы в онтогенезе подорожника большого (контроль, ООПТ «Сосновая роща»)

Онтогенетические состояния	Высота растения (см)	Ширина листовой пластинки (см)	Длина листовой пластинки (см)	Длина черешка (см)	Количество листьев (шт.)	Биомасса растений (мг)
Ювенильные растения (j)	4,63±0,25	2,0±0,03	2,9±0,01	2,8±0,04	3,5±0,03	0,47±0,01
Имматурные растения (im)	6,18±0,85	3,9±0,02	4,8±1,24	5,0±0,01	4,7±0,01	0,75±0,06
Виргинильные растения (v)	13,43±1,40	5,8±0,03	8,2±0,04	10,2±0,02	6,7±0,06	3,88±0,21
Молодые генеративные растения (g ₁)	18,86±1,30	6,3±0,01	10,1±0,07	10,5±0,01	7,7±0,21	9,76±0,33
Средневозрастные генеративные растения (g ₂)	27,62±0,63	6,7±0,03	10,7±0,02	10,8±0,04	9,3±0,07	25,97±1,50

В процессе онтогенеза наблюдалось значительное увеличение биомассы подорожника большого. Так, практически в 5 раз увеличилась биомасса виргинильных растений (3,9 мг) по сравнению с имматурными особями (0,8 мг). Фитомасса средневозрастных генеративных растений (25,9 мг) была в 55 раз больше, чем масса ювенильных особей (0,5 мг). Существенное увеличение биомассы в 2,5 раза наблюдалось также при переходе особей из молодого генеративного в средневозрастное генеративное онтогенетическое состояние.

При изучении растений, произрастающих в условиях загрязнения (табл. 2), установлено, что на начальных этапах онтогенеза не наблюдалось статистически достоверных отличий в высоте растений, по сравнению с растениями, произрастающими в экологически чистой зоне. Однако по мере дальнейшего роста виргинильные растения отставали в росте на 40% по сравнению с контролем. Но в то же время молодые генера-

тивные растения, выросшие в условиях загрязнения, были несколько выше, чем растения чистых мест обитания. В целом к концу наблюдений средневозрастные генеративные растения были ниже растений контрольного варианта (ООПТ «Сосновая роща») на 16 %.

Выявлено наиболее существенное снижение биомассы растений, произрастающих в условиях антропогенного загрязнения. Биомасса растений загрязненных мест обитания в среднем составила 15,9 мг (на контрольной территории – 25,9 мг), т.е. на 63 % ниже.

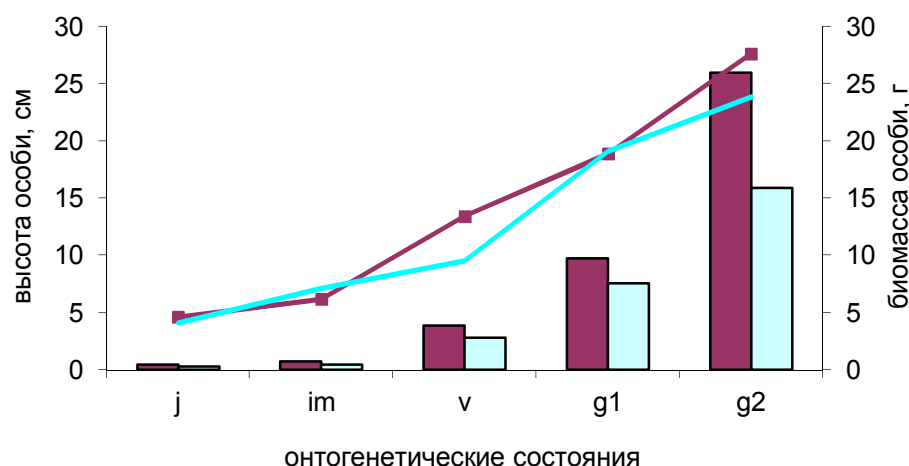


Рис. 1. Изменение высоты и биомассы в онтогенезе подорожника большого
(■ – контроль; ■ – промышленная зона;
----- – высота особи, □ – биомасса особи)

Т а б л и ц а 2

Морфометрические показатели и накопление биомассы в онтогенезе подорожника большого (промышленная зона)

Онтогенетические состояния	Высота растения (см)	Ширина листовой пластинки (см)	Длина листовой пластинки (см)	Длина черешка (см)	Количество листьев (шт.)	Биомасса растений (мг)
Ювенильные растения (j)	4,11±0,12	1,6±0,02	2,2±0,01	2,3±0,02	3,1±0,02	0,31±0,01
Имматурные растения (im)	7,10±0,18	2,0±0,02	3,2±0,04	3,5±0,02	4,3±0,02	0,49±0,03
Виргинильные растения (v)	9,54±0,94	4,0±0,03	6,1±0,14	8,9±0,02	6,4±0,03	2,81±0,21
Молодые генеративные растения (g ₁)	19,06±1,51	4,6±0,03	6,8±0,06	7,5±0,11	6,6±0,02	7,56±0,04
Средневозрастные генеративные растения (g ₂)	23,82±0,73	5,0±0,04	7,6±0,05	7,9±0,14	8,1±0,05	15,89±0,70

Следует отметить, что на всем протяжении онтогенеза у растений подорожника большого, произрастающих в условиях загрязнения среды, длина черешка была на

37%, ширина листовой пластинки – на 34%, длина листовой пластинки – на 40% меньше по сравнению с растениями, выросшими в экологически благоприятных условиях (рис. 2).

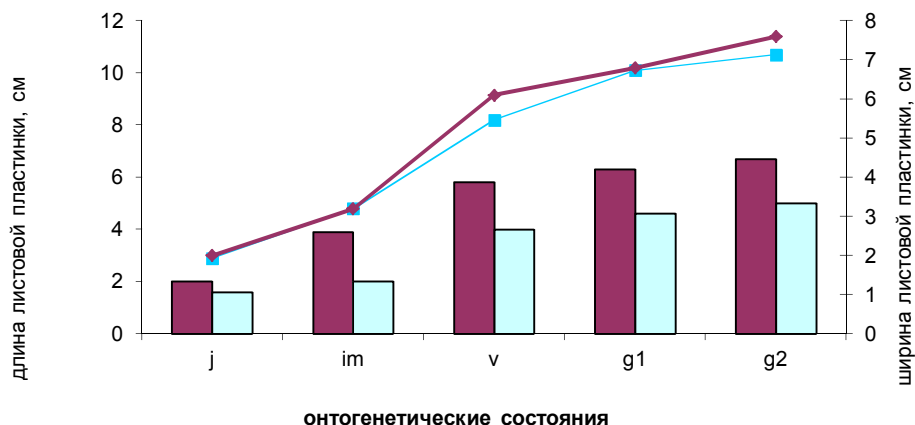


Рис. 2. Изменение параметров листовой пластинки в онтогенезе подорожника большого (■ – контроль; □ – промышленная зона; ----- – длина листовой пластинки, ———— – ширина листовой пластинки)

Неблагоприятные условия роста оказывали влияние на биометрические показатели роста подорожника большого, растения быстрее «взростели», т.е. более энергично происходила смена возрастных состояний, и наблюдалось более раннее завершение онтогенеза.

Авторы [13] также отмечают, что на начальных этапах развития в условиях автотранспортного загрязнения наблюдается уменьшение длины корня, высоты побега, размеров листовой пластинки, биомассы побега и корня многолетних злаков. Однако в ходе дальнейшего онтогенеза растений ингибирующее действие загрязнителей городской среды в отношении большинства ростовых показателей ослабевает.

В процессе исследования изучена динамика накопления тяжелых металлов свинца, кадмия, меди и цинка в онтогенезе подорожника большого в условиях урбанизированной среды.

Т а б л и ц а 3

Содержание свинца в онтогенезе подорожника большого, мг/кг сухой массы

Возрастное состояние	ООПТ «Сосновая роща»			Промышленная зона		
	листья	корни	Кп	листья	корни	Кп
Ювенильные растения (j)	0	0	-	0,01±0,00	0,13±0,04	0,08
Имматурные растения (im)	0	0,06±0,00	-	1,28±0,07	3,05±0,18	0,42
Виргинильные растения (v)	0,18±0,02	0,44±0,03	0,41	3,21±0,07	4,04±0,15	0,79
Молодые генеративные растения (g ₁)	0,58±0,05	0,91±0,06	0,63	4,55±0,17	7,23±0,48	0,63
Средневозрастные растения (g ₂)	0,54±0,03	0,98±0,04	0,55	5,71±0,11	6,46±0,17	0,88

Следует отметить, что в растениях подорожника большого в контрольной зоне (ООПТ «Сосновая роща») на начальных этапах онтогенеза (ювенильные и имматурные растения) свинец не был обнаружен, либо содержание данного тяжелого металла находилось в следовых количествах (табл. 3). По мере дальнейшего роста растений содержание свинца увеличивалось как в листьях, так и в корнях. Причем генеративные особи (g_1 , g_2) накапливали свинца больше, чем растения, имеющие более молодой возрастной статус. Коэффициент передвижения был меньше 1 и равнялся от 0,41 до 0,63; основная масса свинца содержалась в корнях растений.

В результате исследования растений подорожника большого, произраставших в промышленной зоне города, было отмечено, что содержание свинца в листьях в 10, а в корнях в 6 раз превышает уровень, наблюдаемый у растений контрольного варианта. При этом содержание данного металла существенно увеличивалось в процессе роста растений и при переходе от одного возрастного состояния к другому. Коэффициент передвижения свинца у растений промышленной зоны был выше, особенно в генеративном возрастном состоянии, чем у растений, произрастающих в ООПТ «Сосновая роща». Проведенными исследованиями было установлено (табл. 3), что содержание свинца в различных возрастных состояниях подорожника большого значительно отличалось, при этом наибольшее содержание металла было характерно для корней.

Известно [14], что под действием свинца нарушается ряд физиологических процессов у растений, например, ионы свинца вызывают деполяризацию мембранного потенциала у coleoptiles кукурузы, причиной которого может служить увеличение проницаемости плазмолеммы. Основным симптомом токсического действия свинца является торможение роста и угнетение биомассы, которое особенно отчетливо проявляется на корнях. Поглощенный растением свинец в основном остается в корнях. Аккумуляция свинца снижается в ряду корень – стебель – листья – плоды. Более вероятным механизмом задержки металла в корнях следует считать его иммобилизацию. Ее формы могут быть различны. Предполагается образование труднорастворимых фосфатов, силикатов и сульфатов, или прочное связывание металла клеточными оболочками [15]. Также важную роль в механизме защиты растений от поступления свинца играет слизь, которую покрыта поверхность корня. Это высокогидрированный слой отрицательно заряженных полисахаридов, участвующих в процессе поступления металлов в корни. Слизистый слой интенсивно связывает свинец [16].

Изучение накопления кадмия показало (табл. 4), что данный металл содержится в листьях и корнях подорожника большого во всех возрастных состояниях.

Т а б л и ц а 4

Содержание кадмия в онтогенезе подорожника большого, мг/кг сухой массы

Возрастное состояние	ООПТ «Сосновая роща»			Промышленная зона		
	листья	корни	Кп	листья	корни	Кп
Ювенильные растения (j)	0,09±0,01	0,11±0,01	0,82	0,10±0,00	0,13±0,04	0,77
Имматурные растения (im)	0,11±0,01	0,15±0,03	0,73	0,28±0,07	0,55±0,18	0,51
Виргинильные растения (v)	0,13±0,02	0,24±0,03	0,54	0,43±0,07	0,94±0,15	0,46
Молодые генеративные растения (g_1)	0,14±0,05	0,21±0,06	0,67	0,55±0,07	1,23±0,48	0,45
Средневозрастные растения (g_2)	0,15±0,03	0,22±0,02	0,68	0,71±0,04	1,16±0,10	0,61

В растениях, произрастающих в промышленной зоне города, содержание кадмия достоверно выше по сравнению с растениями, произрастающими в ООПТ «Сосновая роща». Как и в случае со свинцом, более высокое содержание кадмия наблюдалось в корнях. Коэффициент передвижения был чуть ниже 1, по мере роста растений наблюдалось его дальнейшее снижение, и у генеративных особей величина Кп находилась в пределах от 0,4 до 0,6.

В процессе онтогенеза растений отмечается картина увеличения содержания кадмия по мере старения особей и наиболее высокие показатели характерны для растений генеративного периода онтогенеза.

Следует отметить, что физиологическая роль кадмия и свинца недостаточно ясна. В литературе они рассматриваются в основном как тяжелые металлы-загрязнители. Полученные нами данные не выходят в целом за пределы ПДК, которые для свинца равны 10–20; для кадмия – 1–6 мг/кг [14].

Содержание меди характеризовалось одновершинной кривой с пиком в виргинильном возрастном состоянии (табл. 5). Такая закономерность наблюдалась как у растений, произрастающих в ООПТ, так и в загрязненных районах города. При этом абсолютное содержание меди было выше в растениях, произрастающих в промышленном районе города. Основная масса меди от 60 до 80 % содержалась в корнях. Превышение ПДК (15–20 мг/кг [17]) меди не наблюдалось.

Т а б л и ц а 5

Содержание меди и цинка в онтогенезе подорожника большого, мг/кг сухой массы

Возрастное состояние	ООПТ «Сосновая роща»			Промышленная зона		
	листья	корни	Кп	листья	корни	Кп
медь						
Ювенильные растения (j)	1,39±0,04	2,18±0,05	0,64	3,19±0,00	7,13±0,04	0,45
Имматурные растения (im)	2,11±0,05	3,35±0,03	0,63	5,28±0,07	6,55±0,18	0,81
Виргинильные растения (v)	3,63±0,02	6,24±0,03	0,58	8,48±0,07	11,94±0,15	0,71
Молодые генеративные растения (g ₁)	3,04±0,05	5,21±0,06	0,58	6,55±0,07	10,23±0,48	0,64
Средневозрастные растения (g ₂)	2,15±0,03	4,52±0,12	0,48	5,31±0,04	10,16±0,10	0,52
цинк						
Ювенильные растения (j)	4,59±0,06	6,11±0,05	0,82	4,10±0,03	7,13±0,04	0,77
Имматурные растения (im)	6,11±0,04	7,15±0,03	0,73	6,28±0,07	7,55±0,18	0,51
Виргинильные растения (v)	8,13±0,09	10,24±0,08	0,54	9,43±0,07	11,94±0,10	0,46
Молодые генеративные растения (g ₁)	6,14±0,05	9,21±0,06	0,67	7,55±0,07	10,23±0,12	0,45
Средневозрастные растения (g ₂)	7,15±0,03	8,22±0,02	0,68	8,71±0,04	9,16±0,10	0,61

Для оценки вклада каждого возрастного состояния в процесс накопления тяжелых металлов нами были проведены расчеты суммарного содержания металлов в листьях и корнях, а также в пересчете на каждое онтогенетическое состояние. Так, в ООПТ «Сосновая роща» содержание меди составило в листьях в сумме 12,68 мг, а в среднем на одно онтогенетическое состояние – 2,5 мг/кг; в корнях – в сумме 21,5 мг; в среднем на

одно онтогенетическое состояние – 4,3 мг/кг. В целом в пересчете на одно растение подорожника большого, произрастающего в ООПТ «Сосновая роща», содержание меди равно 3,41 мг/кг.

В промышленной зоне города содержание меди в особях подорожника большого составило в листьях в сумме 28,81 мг, а в среднем на одно онтогенетическое состояние – 5,7 мг/кг; в корнях – в сумме 46,01 мг; в среднем на одно онтогенетическое состояние – 9,2 мг/кг. В целом в пересчете на одно растение подорожника большого содержание меди было равно 7,45 мг/кг.

Следовательно, содержание меди в растениях подорожника большого, произраставшего в промышленном районе города, в 2,2 раза выше, чем у растений ООПТ «Сосновая роща» в среднем на одно онтогенетическое состояние.

Что касается цинка (табл. 5), то его содержание в растениях подорожника большого не характеризовалось высокими значениями. Так, его содержание в листьях и корнях подорожника большого во всех возрастных состояниях как в условно чистой, так и в загрязненной территории города было примерно одинаковым в пределах от 6 до 10 мг/кг. Наблюдается некоторая тенденция увеличения цинка у виргинильных растений, с последующим снижением к генеративному периоду онтогенеза. ПДК для цинка составляет 150–300 мг/кг [16]. Полученные нами результаты показывают, что содержание цинка даже в загрязненном районе города находится в пределах физиологической нормы. Кроме того, не исключена возможность, что подорожник большой является специфическим видом, который адаптировался в процессе своего филогенеза к произрастанию в придорожных территориях и выработал определенные механизмы, препятствующие поступлению в его ткани избыточных количеств тяжелых металлов.

Выводы.

При изучении растений подорожника большого, произрастающих в условиях загрязнения, установлено, что на начальных этапах онтогенеза не наблюдалось статистически достоверных отличий в высоте растений, по сравнению с растениями, произрастающими в экологически чистой зоне. Однако по мере дальнейшего роста виргинильные растения отставали в росте на 40% по сравнению с контролем. Но в то же время молодые генеративные растения, выросшие в условиях загрязнения, были несколько выше, чем растения чистых мест обитания. В целом к концу наблюдений средневозрастные генеративные растения были ниже растений контрольного варианта (ООПТ «Сосновая роща») на 16 %.

Выявлено наиболее существенное снижение (на 63%) биомассы растений, произрастающих в условиях антропогенного загрязнения. На всем протяжении онтогенеза у растений подорожника большого, произрастающих в условиях загрязнения среды, длина черешка была на 37%, ширина листовой пластинки – на 34%, длина листовой пластинки – на 40% меньше по сравнению с растениями, выросшими в экологически благоприятных условиях. В условиях загрязнений растения подорожника большого быстрее «взрослели», т.е. более энергично происходила смена возрастных состояний и наблюдалось более раннее завершение онтогенеза.

Содержание свинца, кадмия, меди и цинка в вегетативных органах подорожника большого существенно выше в экологически неблагоприятном местообитании по сравнению с контрольной зоной (Сосновая роща). Можно предположить, что повышенное содержание металлов в городских растениях связано с большим поступлением их из загрязненных почв. Поскольку верхний горизонт почв загрязнен металлами более всего, то этот источник накопления имеет, по-видимому, большое значение для травянистых растений с поверхностной корневой системой.

В процессе онтогенеза подорожника большого содержание свинца и кадмия увеличивалось как в корнях, так и в листьях по мере роста растений, самое высокое содержание было у средневозрастных генеративных особей подорожника большого, произраставших в промышленном районе города. Содержание меди и цинка в целом практически не изменялось в процессе онтогенеза подорожника большого, однако относительно высоким было его содержание в растениях виргинильного возрастного состояния.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 07-04-96619 «Эколого-физиологические адаптации растений в условиях городской среды» и НИР по тематическому плану Федерального агентства по образованию «Исследования функциональных особенностей биосистем в изменяющейся среде».

Список литературы

1. Жиров, В. К. Структурно-функциональные изменения растительности в условиях техногенного загрязнения на Крайнем Севере / В. К. Жиров, Е. И. Голубева, А. Ф. Говорова, А. Х. Хаитбаев; (отв. ред. Е. Е. Кислых); Полярно-альп. ботан. сад-ин-т КНЦ РАН. – М.: Наука, 2007. – 166 с.
2. Жукова, Л. А. Популяционная жизнь луговых растений / Л. А. Жукова. – Йошкар-Ола: РИИК «Ланар», 1995. – 224 с.
3. Работнов, Т. А. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах / Т. А. Работнов // Тр. БИН АН СССР. – 1950. – Вып. 6. – С. 7–204.
4. Уранов, А. А. Жизненное состояние вида в растительном сообществе / А. А. Уранов // Бюл. МО-ИП. Отд. биол. – 1960. Т. 65. Вып. 3. – С. 77–92.
5. Ценопопуляции растений (основные понятия и структура) / Воронцова Л. Г., Гатцук Л. Е., Егорова В. Н. и др. – М.: Наука, 1976. – 217 с.
6. Ценопопуляции растений: очерки популяционной биологии / Заугольнова Л. Б., Жукова Л. А., Комарова А. С., Смирнова О. В. – М.: Наука, 1988. – 124 с.
7. Леопольд, А. Рост и развитие растений / А. Леопольд. – М.: Из-во «Мир», 1968. – 494 с.
8. Парибок, Т. А. Загрязнение растений металлами и его эколого-физиологические последствия / Т. А. Парибок // Растения в экстремальных условиях минерального питания. – Л.: Наука, 1983. – С. 82–100.
9. Экология города Йошкар-Олы: научное издание / Мар. гос. ун-т; отв. ред. О. Л. Воскресенская. – Йошкар-Ола, 2007. – 300 с.
10. Практикум по росту и устойчивости растений: Учеб. пособие / В. В. Полевой, Т. В. Чиркова, Л. А. Лутова и др. / Под ред. В. В. Полевого, Т. В. Чирковой. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2001. – 212 с.
11. Чернавина, И. А. Большой практикум по физиологии растений. Минеральное питание / И. А. Чернавина, Л. Г. Косулина, А. П. Потапова. – М.: Выс. шк., 1978. – 326 с.
12. Ковалевский, А. Л. Основные закономерности формирования химического состава растений / А. Л. Ковалевский / Биогеохимия растений. – Улан-Удэ: Бурятское кн. изд-во, 1969. – С. 6–28.
13. Казнина, Н. М. Физиологические аспекты устойчивости представителей семейства Роаесее к тяжелым металлам / Н. М. Казнина, А. Ф. Титов, Г. Ф. Лайдинен и др. // Современная физиология растений: от молекул до экосистем: Материалы докладов Международной конференции (в трех частях). Часть 2. – Сыктывкар, 2007. – С. 167–168.
14. Ильин, В. Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение / В. Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1991. – 148 с.
15. Косицин, А. В. Действие тяжелых металлов на растения и механизмы металлоустойчивости / А. В. Косицин, Н. В. Алексеева-Попова // Растения в экстремальных условиях минерального питания. – Л.: Наука, 1983. – С. 5–22.
16. Алексеева-Попова, Н. В. Устойчивость к металлам различных дикорастущих видов / Н. В. Алексеева-Попова – Л.: Из-во АН СССР, 1991. – 214 с.
17. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.

Статья поступила в редакцию 21.01.09.

O. L. Voskresenskaya

**DYNAMICS OF GROWTH AND ACCUMULATION OF HEAVY METALS
IN GREATER PLANTAIN ONTOGENY IN ANTHROPOGENIC
POLLUTION ENVIRONMENT**

Study results of morphometric data, contents and accumulation of such heavy metals as lead, cadmium, zinc and copper in the ontogeny of greater plantain growing in Yoshkar-Ola with different levels of anthropogenic load are given. The plants growing on the polluted territories are shown to have lower indicators of growth, biomass and higher content of heavy metals which varies in the process of plant ontogeny.

Key words: *greater plantain, age state, lead, cadmium, copper, zinc, biomass.*

ВОСКРЕСЕНСКАЯ Ольга Леонидовна – кандидат биологических наук, доцент, заведующая кафедрой экологии Марийского государственного университета. Область научных интересов – экологическая физиология растений, популяционная экология, урбоэкология. Автор более 110 публикаций, в том числе трех монографий.

УДК 630*905.2(47)

Р. И. Винокурова, И. Ю. Трошкова, А. И. Винокуров

ОЦЕНКА БИОИНДИКАЦИОННЫХ СВОЙСТВ БЕТУЛИНА И СУБЕРИНА В БЕРЕСТЕ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ

*Исследовано содержание экстрактивных веществ бетулина и суберина в бересте деревьев березы повислой (*Betula pendula*), произрастающих в различных экологических условиях. Выявлено постепенное возрастание содержания бетулина и суберина в бересте деревьев *Betula pendula* при увеличении интенсивности промышленного загрязнения. Предложена математическая модель, описывающая закономерности изменения содержания бетулина и суберина в деревьях насаждений промышленной и селитебной зон города Йошкар-Олы и лесопарковой зоны Республики Марий Эл в зависимости от диаметра дерева.*

Ключевые слова: биоиндикация, береза повислая, суберин, бетулин.

Введение. В настоящее время все более широкое распространение получают методы дендроиндикации состояния и изменения окружающей среды под воздействием антропогенных факторов, прежде всего промышленных загрязнителей атмосферы и почвы.

Известно, что стрессовое влияние неблагоприятных факторов отражается на структурно-функциональных параметрах березняков [1]. Это выражается в уменьшении прироста, формировании ажурной кроны и диффузном усыхании. Установлено, что реакция березовых древостоев, особенно нарушенных антропогенным воздействием, может проявляться в снижении их устойчивости на дефолиацию насекомыми-филлофагами. Ослабление растений в результате воздействия промышленных выбросов усиливает их восприимчивость к грибным болезням [2].

Изучение содержания экстрактивных веществ бересты *Betula pendula* при воздействии неблагоприятных факторов представляет большой интерес для понимания механизма сопротивления деревьев. Изменчивость содержания бетулина и суберина в бересте особей *Betula pendula* в качестве ответной реакции на условия среды практически не изучена.

Цель данной работы состояла в выявлении закономерностей изменения содержания экстрактивных веществ бересты деревьев *Betula pendula* разного диаметра, произрастающих в различных экологических условиях.

Объектом исследований служили насаждения *Betula pendula* в пределах г. Йошкар-Олы. Для выявления различий в содержании бетулина и суберина в бересте деревьев *Betula pendula* различного диаметра, произрастающих в различных экологических условиях, на территории г. Йошкар-Олы выделены два типа функционального использования территории: селитебный (микрорайон «Дубки») и промышленный. Отбор проб в промышленной зоне проводили вблизи автовокзала, спорткомплекса «Юбилейный», ОАО ICN «Марбиофарм», ФГУП «ММЗ», троллейбусного депо и транспортных магистралей.

Для сравнения в качестве объектов исследований взяты березовые насаждения, расположенные в наиболее распространенных типах березняков в лесопарковой зоне (УОЛ, Нолькинское лесничество, квартал 26, выдел 1). Пробная площадь (ПП) в лесопарковой зоне закладывалась в березняке липовом (C_2), сформированном в условиях сураменей, на хорошо дренированных почвах на слабых склонах. Полнота древостоя высокая. Класс бонитета I–II. Встречаются осина, липа, пихта, ель, клён, единично – вяз. На ПП отбирались по 10 растущих деревьев *Betula pendula* каждого диаметра. Диаметр стволов на высоте 1,3 м измеряли мерной вилкой, высоту определяли с помощью эклиметра. На основании данных измерений общепринятыми в лесной таксации методами определялись основные таксационные показатели древостоя насаждения: состав, средний диаметр, средняя высота, средний возраст, класс бонитета, полнота.

Образцы коры размером 5×5 см отбирали на высоте ствола 1,3 м с растущих деревьев в четырех геодезических направлениях. Кору разделяли на бересту и луб (внутренний слой) вручную, удаляя посторонние примеси (лишайники, песок). Затем усредненные образцы высушивали до воздушно-сухого состояния. Для определения равновесной (гигроскопической) влажности навеску воздушно-сухого образца взвешивали с точностью до 0,0001 г и высушивали до абсолютно сухого состояния в сушильном шкафу при температуре $105 \pm 2^\circ\text{C}$ в течение 5 ч до постоянной массы. Влажность рассчитывали по [3].

Для химических анализов по содержанию бетулина и суберина высушенные до абсолютно сухого состояния образцы бересты измельчали в гомогенизаторе до частиц размером не более 1×3 мм [4]. Для извлечения бетулина и суберина из бересты использовали совмещенную методику, предложенную Т. И. Федорищевым и В. Г. Калайковым [5].

Результаты исследования и их обсуждение. Данные по содержанию бетулина и суберина в бересте деревьев *Betula pendula* разного диаметра, произрастающих на территориях различного функционального использования: селитебной зоне и промышленной зоне, представлены в табл. 1.

Для сравнения в этой же таблице приведены данные, полученные при изучении зависимости накопления бетулина и суберина в бересте *Betula pendula* от диаметра на пробной площади, которая отнесена к лесопарковой зоне.

Т а б л и ц а 1

Содержание бетулина ($C_{\text{бет}}$, %) и суберина ($C_{\text{суб}}$, %) в бересте деревьев *Betula pendula* различного диаметра (Д, см), произрастающих на территориях различного функционального использования

D, см	$C_{\text{бет}}$, %	$C_{\text{суб}}$, %
Лесопарковая зона		
11,0	$8,42 \pm 2,01$	$7,69 \pm 0,47$
16,0	$10,55 \pm 2,05$	$14,18 \pm 0,73$
21,5	$16,67 \pm 0,11$	$16,2 \pm 0,53$
23,6	$14,59 \pm 0,81$	$15,44 \pm 0,67$
27,0	$15,36 \pm 0,97$	$12,39 \pm 0,96$
29,5	$14,89 \pm 1,07$	$14,47 \pm 0,21$
31,2	$10,45 \pm 1,69$	$9,68 \pm 0,36$

Окончание табл. 1.

D, см	C _{бет} , %	C _{суб} , %
Селитебная зона		
11,9	13,21±0,50	13,97±1,26
16,3	16,07±0,17	16,15±0,28
21,2	17,28±0,26	17,49±1,42
23,0	18,01±0,20	18,19±0,09
27,0	17,68±0,10	18,10±1,13
29,3	14,93±0,63	14,67±3,57
32,3	13,36±0,72	14,88±1,30
Промышленная зона		
12,3	15,03±0,58	9,79±0,32
16,6	15,26±0,33	15,84±0,56
21,4	15,66±0,49	16,04±0,68
23,8	16,36±0,69	15,18±0,87
27,0	18,90±0,60	18,80±0,07
30,6	19,38±0,27	18,74±0,50
37,8	16,59±0,31	13,57±0,32

Т а б л и ц а 2

**Влияние зоны отбора проб (фактор А) и диаметра деревьев (фактор В)
на содержание бетулина в бересте *Betula pendula***

Источник варьирования	ss	df	ms	F _{факт.}	F _{табл.} при P=0,05	P _A , %
Общее	264,70	41	-	-	-	-
Фактор А	83,45	2	41,72	103,97	3,47	50,75
Фактор В	119,25	6	19,88	49,53	2,57	15,34
Взаимодействие А и В	53,57	12	4,46	11,12	2,25	28,31
Случайное	8,43	21	0,40	-	-	-

Содержание суберина в бересте *Betula pendula* (табл. 3) достоверно зависит от экологических условий места произрастания деревьев ($F_{\text{факт.}}=87,90 > F_{0,05}=3,47$), диаметра деревьев ($F_{\text{факт.}}=59,22 > F_{0,05}=2,57$), взаимодействия обоих факторов ($F_{\text{факт.}}=9,11 > F_{0,05}=2,25$). Содержание суберина в бересте на 35,64 % определяется зоной отбора проб, на 26,68 % – диаметром деревьев и на 30,23 % – взаимодействием обоих факторов.

Т а б л и ц а 3

**Влияние зоны отбора проб и диаметра деревьев
на содержание суберина в бересте *Betula pendula***

Источник варьирования	ss	df	ms	F _{факт.}	F _{табл.} при P=0,05	P _A , %
Общее	377,53	41	-	-	-	-
Фактор А	100,35	2	50,17	87,90	3,47	35,64
Фактор В	202,80	6	33,80	59,22	2,57	26,68
Взаимодействие А и В	62,39	12	5,20	9,11	2,25	30,23
Случайное	11,99	21	0,57	-	-	-

Характер изменчивости содержания бетулина и суберина в насаждениях, произрастающих в промышленной и селитебной зонах г. Йошкар-Олы, описан следующими уравнениями:

- в промышленной зоне:

для бетулина:

$$C_{\text{бет}} = 0,240 \cdot D^{1,437} \cdot \exp(-0,044 \cdot D) + 9,149 \quad (R^2 = 0,53) \quad (1)$$

для суберина:

$$C_{\text{суб}} = 0,227 \cdot D^{2,010} \cdot \exp(-0,078 \cdot D) - 3,428 \quad (R^2 = 0,76) \quad (2)$$

- в селитебной зоне:

для бетулина:

$$C_{\text{бет}} = 0,400 \cdot D^{1,946} \cdot \exp(-0,093 \cdot D) - 3,615 \quad (R^2 = 0,89) \quad (3)$$

для суберина:

$$C_{\text{суб}} = 0,321 \cdot D^{1,938} \cdot \exp(-0,091 \cdot D) + 0,457 \quad (R^2 = 0,77) \quad (4)$$

Значения максимальной относительной погрешности моделей 1 и 2 составляют 9,18 % и -13,29 % соответственно. Значение максимальной относительной погрешности модели 3 равно 7,53 % и модели 4 составляет -8,26 %.

Характер зависимости содержания бетулина и суберина в бересте деревьев *Betula pendula* разного диаметра в лесопарковой зоне описывается уравнениями:

для бетулина:

$$C_{\text{бет}} = 0,294 \cdot D^{2,064} \cdot \exp(-0,092 \cdot D) - 7,711 \quad (R^2 = 0,71) \quad (5)$$

для суберина:

$$C_{\text{суб}} = 0,757 \cdot D^{1,853} \cdot \exp(-0,091 \cdot D) - 15,504 \quad (R^2 = 0,83) \quad (6)$$

Значения максимальной относительной погрешности моделей 5 и 6 составляют -18,07 % и 22,53 % соответственно.

На рис. 1 представлены кривые, характеризующие изменчивость содержания бетулина в бересте в зависимости от диаметра деревьев *Betula pendula*, произрастающих в промышленной и селитебной зонах, а также для сравнения приведены данные, по содержанию бетулина в бересте деревьев, произрастающих на ПП, отнесенной к лесопарковой зоне (Л).

Наблюдаются более высокие достоверно ($F_{\text{факт.}} = 8,30-126,45 > F_{\text{табл.}} = 7,71$) отличающиеся значения содержания бетулина в бересте деревьев *Betula pendula*, произрастающих в зоне промышленного загрязнения по сравнению с более экологически чистыми лесопарковой и селитебной зонами.

При этом для насаждений лесопарковой и селитебной зон характерно максимальное накопление бетулина в бересте деревьев диаметром 18–24 см. При увеличении диаметра более 24 см содержание бетулина в бересте деревьев, произрастающих в лесопарковой и селитебной зонах, уменьшается, тогда как содержание бетулина в бересте деревьев промышленной зоны остается неизменным (рис. 1).

Различия значений количества бетулина в бересте деревьев, произрастающих в селитебной и лесопарковой зонах, в основном статистически значимы ($F_{\text{факт.}} = 14,01-50,41 > F_{\text{табл.}} = 7,71$). Однако значения содержания бетулина в бересте деревьев этих двух зон с диаметром более 30 см близки и статистически достоверно не отличаются ($F_{\text{факт.}} = 0,003-7,53 < F_{\text{табл.}} = 7,71$).

Наблюдаемая тенденция повышенного накопления количества бетулина в бересте деревьев *Betula pendula*, произрастающих в промышленной зоне, характеризует ответ-

ную реакцию березовых насаждений на действие стресса, вызванного жизнедеятельностью в условиях промышленного загрязнения.

Следовательно, количественное содержание бетулина в бересте представителей *Betula pendula* может применяться в качестве индикатора для оценки состояния окружающей среды под влиянием антропогенного воздействия, в том числе промышленных выбросов.

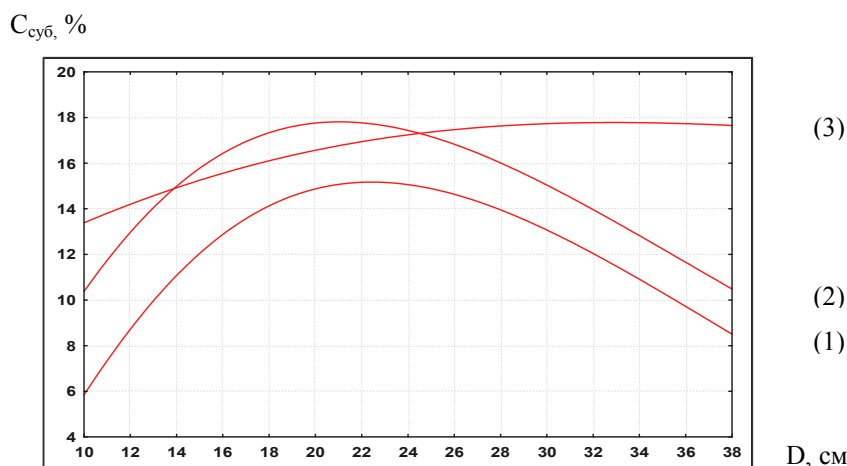


Рис. 1. Характер накопления бетулина в бересте деревьев *Betula pendula*, произрастающих на территориях различного функционального использования (1 – лесопарковая зона; 2 – селитебная зона; 3 – промышленная зона)

Кривые, характеризующие зависимость накопления суберина в бересте деревьев *Betula pendula* разного диаметра, произрастающих на территориях различного функционального использования, приведены на рис. 2.

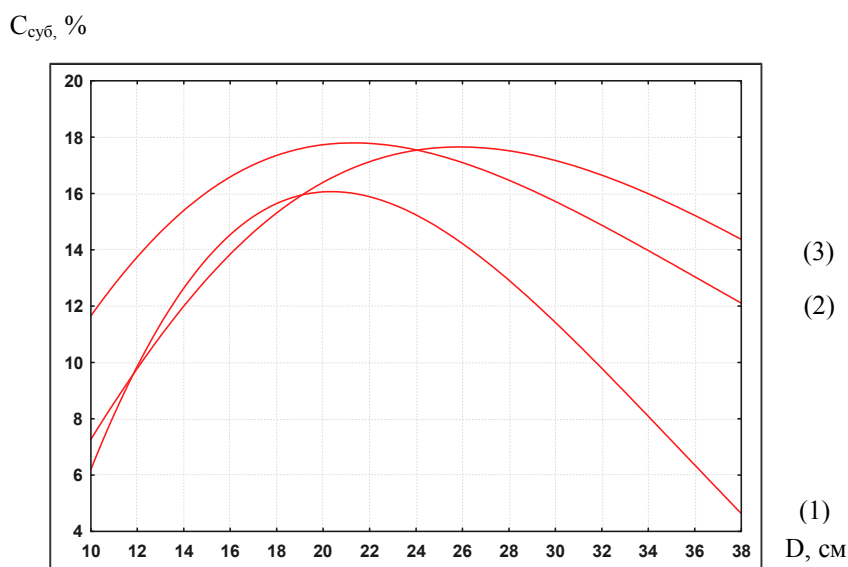


Рис. 2. Характер накопления суберина в бересте деревьев *Betula pendula*, произрастающих на территориях различного функционального использования (1 – лесопарковая зона; 2 – селитебная зона; 3 – промышленная зона)

Характер накопления суберина в бересте деревьев *Betula pendula*, произрастающих на территориях различного функционального использования, практически одинаков. В насаждениях селитебной и лесопарковой зон максимальное количество суберина отмечается в бересте деревьев с диаметром 18–24 см. При диаметре деревьев более 24 см наблюдается уменьшение содержания суберина в бересте деревьев *Betula pendula* селитебной и лесопарковой зон. Для деревьев промышленной зоны максимум содержания суберина в бересте смещается в сторону увеличения диаметра и отмечается для деревьев диаметром 24–30 см. При диаметре более 30 см заметно уменьшение содержания суберина в бересте деревьев промышленной зоны.

Для деревьев промышленной зоны содержание суберина в бересте деревьев по сравнению с лесопарковой зоной более высокое. Различия в основном статистически значимы ($F_{\text{факт.}}=9,77-195,67 > F_{\text{табл.}}=7,71$). При сравнении количественного содержания суберина в бересте деревьев промышленной и селитебной зон выявляются близкие значения, причем различия в целом статистически недостоверны ($F_{\text{факт.}}=0,74-3,85 < F_{\text{табл.}}=7,71$). Наблюдаются более высокие значения содержания суберина в бересте деревьев *Betula pendula* селитебной зоны по сравнению с лесопарковой. Различия в целом статистически значимы ($F_{\text{факт.}}=19,05-65,42 > F_{\text{табл.}}=7,71$).

Выводы. Анализ накопления бетулина и суберина в бересте деревьев *Betula pendula* в насаждениях селитебной и лесопарковой зон показывает, что содержание изучаемых веществ зависит от воздействия антропогенного фактора.

При увеличении интенсивности загрязнения от экологически чистой лесопарковой зоны к менее подверженной загрязнению селитебной и к наиболее загрязненной промышленной зоне происходит постепенное увеличение содержания бетулина и суберина в бересте деревьев *Betula pendula*. Деревья *Betula pendula* реагируют на стресс, вызванный промышленным загрязнением, повышенным содержанием бетулина и суберина в бересте.

Следовательно, представители *Betula pendula*, испытывающие воздействие промышленных выбросов, могут применяться в качестве дендроиндикаторов оценки состояния окружающей среды.

Список литературы

1. Федоренко, С. И. Толерантность березовых древостоев северной лесостепи Зауралья к абиотическому и биотическому стрессу / С. И. Федоренко // Экология. – 2001. – № 6. – С. 466–470.
2. Воронцов, А. И. Патология леса / А. И. Воронцов. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 270 с.
3. ГОСТ 16483.7-71. Древесина. Методы определения влажности. – Введ. 1973–01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – С. 27–29.
4. Селянина, Л. И. Выделение бетулина из отходов переработки березы экстракцией спиртом / Л. И. Селянина // Известия вузов. Лесной журнал. – 2004. – № 4. – С. 92–96.
5. А. с. 382657 СССР, МКИ¹ С 08h 5/04. Способ выделения бетулина и суберина / Т. И. Федорищев, В. Г. Калайков (СССР). – N1472003/23 – 4; заявл. 14.08.70; опубл. 23.05.73; Бюл. N 23. – С. 66–67.

Статья поступила в редакцию 10.12.08.

R. I. Vinokourova, I. Yu. Troshkova, A. I. Vinokourov

ASSESSMENT OF BIOINDICATIONAL FEATURES OF BETULIN AND SUBERIN IN BIRCHBARK OF WEeping BIRCH

Content of extraneous substances of betulin and suberin in birchbark of weeping birch (Betula pendula) growing in different environments is studied. A gradual rise of betulin and suberin content in the birchbark of Betula pendula at the increase of intensity of industrial pollution is revealed. Mathematic model describing the laws of betulin and suberin content change in the plantation trees of industrial and residential town areas of Yoshkar-Ola and forest parks of Mari El depending on the diameter of the tree is suggested.

Key words: biological indication, weeping birch, suberin, betulin.

ВИНОКУРОВА Раиса Ибрагимовна – доктор биологических наук, профессор МарГТУ. Область научных интересов – устойчивое природопользование, биогеохимия, экология и физиология лесных растений. Автор более 150 публикаций, в том числе пяти монографий.

ТРОШКОВА Инга Юрьевна – кандидат биологических наук, доцент Московского областного государственного университета. Область научных интересов – биологические ресурсы и экология. Автор 12 публикаций.

ВИНОКУРОВ Александр Иванович – кандидат химических наук, профессор МарГТУ. Область научных интересов – экологическая химия, экология, биогеохимия. Автор более 50 публикаций.

УДК 502-032.3:71

А. Н. Фадеев, О. А. Жгулёва

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СПОСОБНОСТИ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ К ДЕПОНИРОВАНИЮ УГЛЕРОДА

Приведена методика оценки способности лесных насаждений к связыванию углерода. Изложенная методика базируется на получении нормализованных кривых моделированием запасов насаждений. Показан пример реализации способа по лесному фонду Республики Марий Эл.

Ключевые слова: депонирование углерода, лесные насаждения, моделирование запасов.

Введение. В связи с изменением климата исследования углеродного цикла активизировались. Лесные насаждения представляют собой уникальные экосистемы, обладающие способностью депонировать (связывать) углерод, которая напрямую зависит от состояния древостоя. Этот факт позволяет применять способность насаждения к депонированию углерода в качестве комплексного природоохранного индикатора состояния экосистемы. Известны подходы в определении депонирования углерода лесными насаждениями по статистическим данным учета лесного фонда [1–2], а также по компонентам насаждений леса [3–4].

Цель исследования – разработать методику определения депонирующей способности насаждений по нормализованным кривым распределения запасов древесины на участках леса (таксационных выделах) в различных условиях местопроизрастания.

Решаемые задачи. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- методом статистического моделирования получить зависимости распределения запасов древесины на участках леса с различными условиями местопроизрастания,
- разработать методику расчета величины депонирования углерода лесными насаждениями.

Объекты и методика исследований. Предлагается методика определения депонирования углерода, которая базируется на основе нормализованных кривых по распределению запасов древесины на 1 га относительно средневзвешенного возраста древостоя на участке леса. В качестве исходных данных использовались зависимости запаса древесины, определяемого на основе таксационных описаний участков леса по лесному фонду Республики Марий Эл, от возраста древостоя.

По массиву, расположенному в базе данных, необходимо проведение статистического моделирования с определением нормируемых кривых распределения запасов древесины по среднему возрасту, типу леса и лесорастительным условиям (ТЛУ) и выделения ценных массивов и угнетенных массивов.

В качестве исходной математической конструкции было выбрано уравнение следующего вида:

$$y = ax^b \exp(-cx),$$

где y – запас древесины на 1 га, m^3 ; x – средневзвешенный возраст древостоя, лет.

Рассмотрим методику оценки способности лесных насаждений к депонированию углерода на примере данных по соснякам-брусничникам (Сбр, А2) лесного фонда Республики Марий Эл.

Общее разграничение выборки нормализованными кривыми можно рассмотреть на рис. 1. Таким образом, данные кривые распределения позволяют охарактеризовать состояние насаждений каждого лесного участка по величине накопления биомассы (запаса древесины). Это позволяет в дальнейшем применить лесохозяйственные мероприятия с целью увеличения удельного запаса и прироста древесины. При этом можно провести зонирование точечного распределения на основе этих кривых (рис. 2).

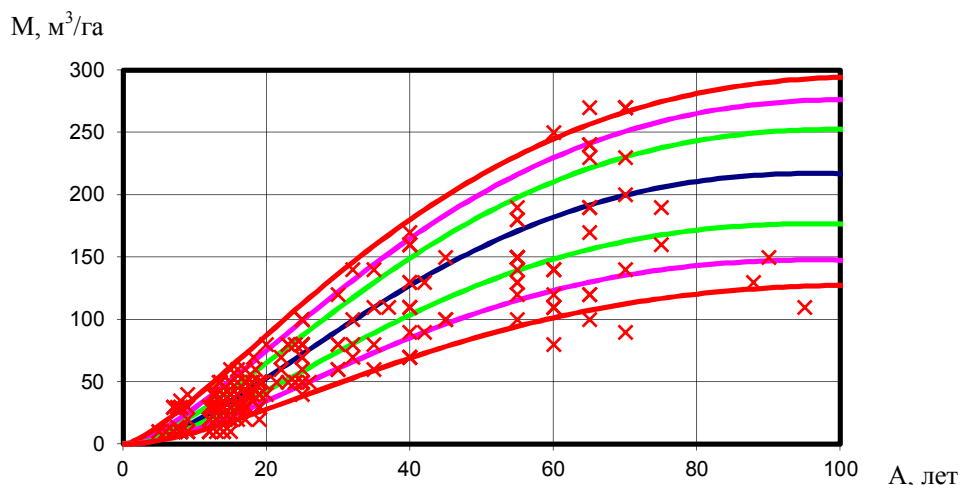


Рис. 1. График нормализованных кривых и фактических данных по распределению запасов на 1 га в зависимости от средневзвешенного возраста в сосняках-брусничниках

На основе нормализованных кривых можно определить годичный прирост древесины на 1 га по следующей зависимости (рис. 3):

$$P = a \cdot A^b \cdot \exp(-c \cdot A) - [a \cdot (A-1)^b \cdot \exp(-c \cdot (A-1))], \quad (1)$$

где A – средний возраст древостоя, лет; P – годичный прирост древесины на 1 га в возрасте A .

Зная прирост древесины, можно определить в дальнейшем и депонирование (поглощение) углерода для нормализованной кривой запасов

$$Q_c = 0,5 \cdot P. \quad (2)$$

Для того, чтобы определить количество углекислого газа, которое поглощает древостой на 1 га лесного участка, необходимо произвести пересчет депонирования углерода на углекислый газ по формуле

$$Q_{CO_2} = 3,67 \cdot Q_c. \quad (3)$$

Количество кислорода, выделяемого древостоем с 1 га, определяется как

$$Q_{O_2} = 0,73 \cdot Q_{CO_2}. \quad (4)$$

Расчет количества углекислого газа и кислорода, выделяемого 1 га леса, производится для того, чтобы определить возможную стоимость экологической компоненты леса в результате депонирования углерода.

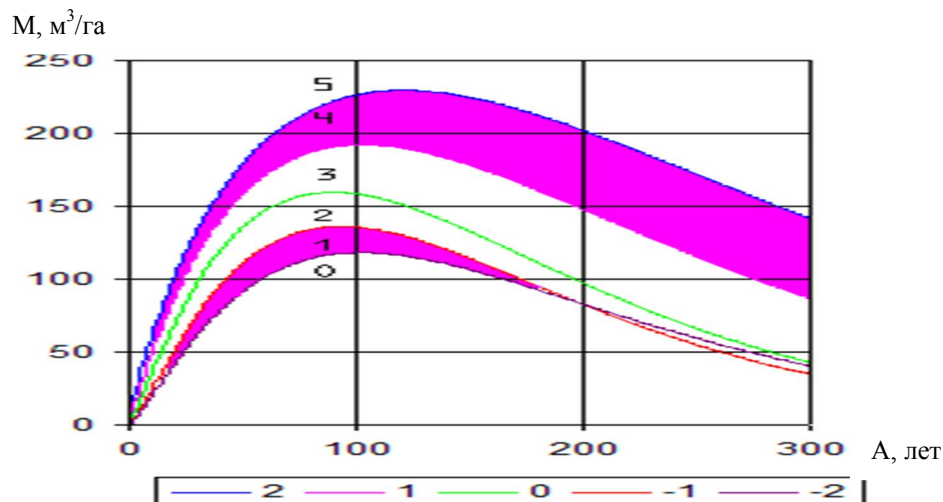


Рис. 2. Градация лесных насаждений нормализованными кривыми по уровню запаса:

0 – особо угнетенные; 1 – угнетенные; 2 – умеренно угнетенные;
3 – умеренно ценные; 4 – ценные; 5 – особо ценные лесные массивы

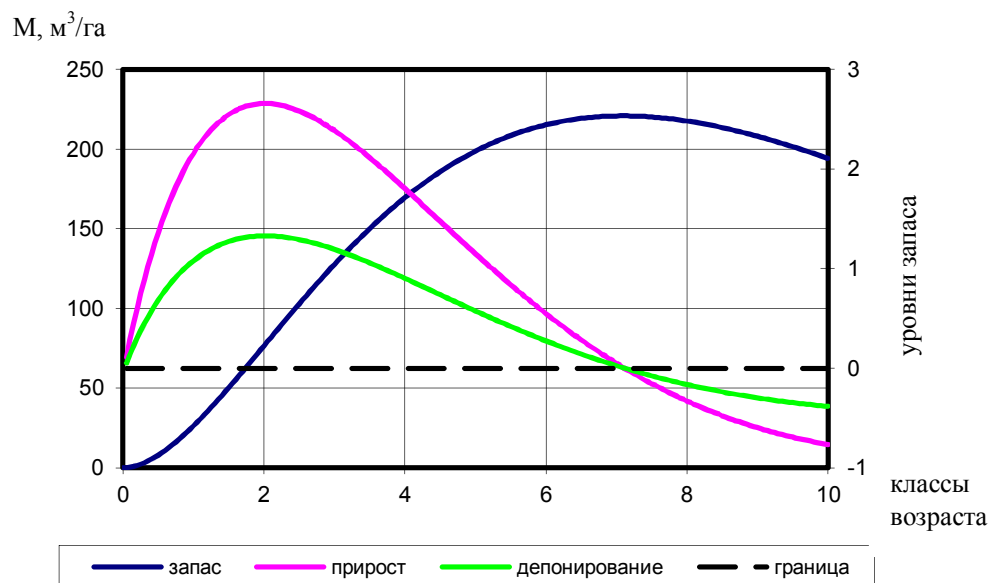


Рис. 3. Зависимости прироста древесины, запаса и депонирования углерода от класса возраста

Для случая, когда фактические данные не лежат на нормализованных кривых запаса, необходимо определение прироста с учетом коэффициента пересчета, характеризующего отклонение фактического значения от значения по кривой для соответствующего среднего возраста насаждения, который будет определяться по следующей зависимости:

$$P = Z_{\phi} \left(1 - \frac{(A-1)^b \cdot \exp(-c \cdot (A-1))}{A^b \cdot \exp(-c \cdot A)} \right), \quad (5)$$

где Z_{ϕ} – фактическое значение запаса на 1 га по таксационному выделу.

Тогда депонирование углерода с 1 га лесных насаждений будет равно:

$$Q_C = 0,5Z_{\phi} \left(1 - \frac{(A-1)^b \cdot \exp(-c \cdot (A-1))}{A^b \cdot \exp(-c \cdot A)} \right). \quad (6)$$

При этом средний возраст древостоя на участке леса определяется на основе возрастных запасов по каждой породе, входящей в породный состав насаждения на таксационном выделе:

$$A = \frac{\sum A_n \cdot Z_n}{Z_i^{общ}}, \quad (7)$$

где $Z_i^{общ}$ – общий запас на выделе, м³; A_n – возраст породы в древостое, лет; Z_n – запас древесины по породе в древостое, м³.

Результаты исследования. В нашем случае для лесного фонда в границах лесхозов (по старому делению) был произведен расчет удельного показателя депонирования углерода (рис.4).



Рис. 4. Удельное депонирование углерода на территории РМЭ в рамках границ лесхозов

Выбор модели нормализованной кривой зависит от номера зоны (уровня, рис. 2), в которую попадает значение запаса на 1 га по соответствующему древостою.

Выводы. Такой подход в оценке состояния лесного фонда позволяет добиться поэтапного улучшения состояния лесных насаждений при проведении необходимых лесохозяйственных мероприятий по соответствующим лесным участкам (таксационным выделам), а в рамках Киотского протокола провести расчет депонирования углерода лесными насаждениями.

Рассмотренная методика оценки способности лесных насаждений к депонированию углерода на примере данных по типам леса и условиям местопроизрастания обуславливает подход к определению кислородно-углеродного баланса территории.

Список литературы

1. *Замолодчиков, Д. Г.* Определение запасов углерода по зависимым от возраста насаждений конверсионно-объемным коэффициентам / Д. Г. Замолодчиков, А. И. Уткин, Г. Н. Коровин // Лесоведение. — 1998. — № 3. — С. 84–93.
2. *Замолодчиков, Д. Г.* Система конверсионных отношений для расчета чистой первичной продукции лесных экосистем по запасам насаждений / Д. Г. Замолодчиков, А. И. Уткин // Лесоведение. — 2000. — № 6. — С. 54–63.
3. *Исаев, А. С.* Оценка запасов и годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России / А. С. Исаев, Г. Н. Коровин, А. И. Уткин и др. // Лесоведение. — 1993. — № 6. — С. 3–10.
4. *Курбанов, Э. А.* Бюджет углерода сосновых насаждений центрального лесотаксационного района России [Текст]: дис. ... докт. с.-х. наук / Э. А. Курбанов // Мар. гос. техн. ун-т; Науч. консульт. П. А. Соколов. — Йошкар-Ола, 2003. — 316 с.

Статья поступила в редакцию 11.02.09.

A. N. Fadeyev, O. A. Zhgulyova

THE METHOD OF AN ESTIMATION OF WOOD PLANTATIONS ABILITY TO CARBON BINDING

A method of an estimation of ability of wood plantations to carbon binding is indicated. Described technique bases on deriving of the normalized curves by modeling of stocks of plantations. The example of realization of a method on forest resources of Republic of Mari El is showed.

Key words: *carbon binding, wood plantations, modeling of stocks.*

ФАДЕЕВ Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры природообустройства МарГТУ. Область научных интересов – экология, землеустройство, ГИС, морфометрия, кадастры. Автор 30 публикаций.

ЖГУЛЕВА Ольга Александровна – аспирант, ассистент кафедры природообустройства МарГТУ. Область научных интересов – экология, морфометрия. Автор трех публикаций.

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

УДК 630*378

К 125-ЛЕТНЕМУ ЮБИЛЕЮ АНДРЕЯ АНДРЕЕВИЧА ТРУФАНОВА

10 марта 2009 года исполнилось 125 лет со дня рождения яркого ученого лесотехнической науки Андрея Андреевича Труфанова (1884–1957 гг.), доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки и техники МАССР и ТАССР, заведующего кафедрой водного транспорта леса Поволжского лесотехнического института.

А. А. Труфанов родился в Москве в семье служащего текстильной фабрики. В 1903 году, окончив Московское коммерческое училище, поступил в Московский университет на физико-математический факультет. В 1904 году он перешел учиться в Московский институт путей сообщения и закончил его в 1909 году. После этого молодой инженер работал на гидрологических изысканиях реки Волги под руководством известных гидрологов-инженеров Н. Н. Жуковского и Н. Н. Соколова, которые оказали значительное влияние на его дальнейшую производственную и научно-исследовательскую деятельность. В 1914 году он прошел 5-месячную научную стажировку в Германии по изучению методов землечерпательных работ и речного портостроения. В годы военных действий (1914–1917 гг.) Первой мировой войны участвовал в военно-инженерных изысканиях ряда военных организаций.



В конце 1917 года после демобилизации А. А. Труфанов избран членом коллегии Управления водного транспорта в г. Казани, где занимался улучшением лесотранспортных условий рек Кокшайского массива для вывоза выработанной древесины гарей 1921 года. Результатом этого исследования явилась монография «Очерк главных сплавных рек и транспортирования древесины Казанского края», изданная в 1923 году. В монографии А. А. Труфанов впервые дал исчерпывающее и всестороннее гидрологическое и транспортно-экономическое обоснование использования лесосплавных рек Кокшайского массива, продолжив развитие русской науки о водном транспорте леса. Для улучшения лесосплавных рек он с большим успехом применил метод спрямления извилистых участков рек, достигая при этом быстрого и радикального увеличения их лесосплавной способности при наименьшем расходе средств.

Научная деятельность А. А. Труфанова в области водного транспорта леса уже в первые ее годы получила известность и признание среди работников лесной промыш-

ленности. В 1921 году он получил приглашение руководства лесного факультета Казанского государственного университета вести курс «водный транспорт леса». С этого года А. А. Труфанов интенсивно разрабатывает эту дисциплину, что привело к признанию его деятельности Главпрофобром Наркомпроса РСФСР, который рекомендовал его программу чтения курса «водного транспорта леса» для всех лесных вузов страны. Профессор А. А. Труфанов заведовал кафедрой водного транспорта леса, совмещая учебно-педагогическую деятельность с научно-исследовательской работой, в Казанском лесотехническом институте (КЛТИ).

Начавшееся быстрое становление лесной промышленности показало, что для более успешного ее развития необходимо создание специализированных научно-исследовательских учреждений. В 1928 году А. А. Труфанову были поручены организация и руководство Волжско-Камской опытной станцией по водному транспорту леса (ВКОС). В короткий срок было создано крупное научно-исследовательское учреждение с 30 научными работниками и опытными механическими мастерскими для конструирования экспериментальных сплавных механизмов. За период работы во ВКОСе А. А. Труфанов написал несколько учебников по водному транспорту леса, служивших долгое время единственным руководством для студентов лесных вузов и техникумов, и разработал ряд НИР по теории водного транспорта лесоматериалов и лесосплавных сооружений. Крупнейшими работами этого периода являются: «Гидравлические явления в потоке, поверхность которого покрыта бревенным заломом», премированная ВНИТО лесной промышленности; «Гидравлика бревенного залома (Гидравлика потока с поверхностным сопротивлением)», также премированная и представленная к защите как докторская диссертация в Московском государственном гидромелиоративном институте; ряд научных статей, опубликованных в «Трудах Казанского института инженеров коммунального строительства», где проф. А. А. Труфанов впервые в гидравлике с большей полнотой решил вопросы внутренней циркуляции речного потока и установил основные закономерности этого гидравлического явления.

В 1932 году КЛТИ переводится в г. Йошкар-Олу и становится Поволжским лесотехническим институтом (ПЛТИ), где проф. А. А. Труфанов работал по совместительству заведующим кафедрой сухопутного и водного транспорта леса до 1945 года. Свою научно-педагогическую деятельность в ПЛТИ он умело сочетал с инженерной деятельностью во ВКОСе (ныне Волжско-Камский научно-исследовательский институт лесной промышленности). С его помощью была организована кафедра сухопутного и водного транспорта леса в составе профессора А. А. Труфанова, доцента С. А. Никонова, доцента М. Г. Липкова, старшего преподавателя С. Х. Будыка и оборудован кабинет водного транспорта леса с моделями различных типов плотов, наплавных и гидротехнических сооружений, лучший среди лесотехнических вузов России. Важные научно-исследовательские работы профессора А. А. Труфанова в этот период были опубликованы в «Известиях Поволжского лесотехнического института».

По заданию лесохозяйственных организаций Марийской АССР сотрудниками кафедры водного транспорта леса и студентами лесоинженерного факультета ПЛТИ были проведены крупные работы по исследованию и приведению в транспортное состояние лесосплавных рек первоначального сплава: Большой и Малой Кокшаги, Ветлуги, Илети, Рутки, Юшута с выходом сплаваемой древесины на Волгу.

В годы Великой Отечественной войны работа кафедр ПЛТИ осуществлялась с учетом военного времени с наибольшим приближением к нуждам обороны. Профессор А. А. Труфанов разработал для ГВИУ РККА методику расчета заградительных сооружений, предохраняющих военные переправы от повреждения весенним ледоходом.

С этой же целью им была составлена карта средних толщин речного ледяного покрова по месяцам для западных районов Европейской части СССР, а также инструкция по устройству водных ледяных дорог и переправ.

За весь 35-летний период научно-педагогической и инженерно-конструкторской деятельности профессором А. А. Труфановым написано и опубликовано 67 научных работ, многие из которых сегодня имеют большое научное и практическое значение. В 1940 году на их основании ему было присвоено почетное звание заслуженного деятеля науки и техники Татарской АССР, а в 1944 году – заслуженного деятеля науки и техники Марийской АССР.

Биография А. А. Труфанова дает пример сочетания крупного ученого, обогатившего лесотехническую науку целым рядом ценных и оригинальных работ, и инженера - практика, знатока лесных богатств Среднего Поволжья. Он и внешне являл собой образец блестящего инженера – красивый, со вкусом одетый, интеллигентный. Казалось, он всем своим видом призывал студентов последовать его примеру. Не зря в 1930-е годы на конкурсе «Мужской красоты» в Париже А. А. Труфанов получил диплом «За мужскую красоту и элегантность».

П. Ф. Войтко, А. В. Козлов

Статья поступила в редакцию 18.02.09.

P. F. Voitko, A. V. Kozlov

**TO 125TH ANNIVERSARY
OF ANDREY ANDREYEVICH TROUFANOV**

10 March 2009 is 125 anniversary of a bright scientist of forest engineering Andrey Andreyevich Troufanov (1884–1957), Doctor of Sciences in Engineering, professor, honoured worker of science and engineering of the MASSR and the TASSR, Head of Forest Water Transport Chair of the Povolzhskiy Forest Engineering Institute.

УДК 630*378

К 90-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ЮРИЯ ЯКОВЛЕВИЧА ДМИТРИЕВА

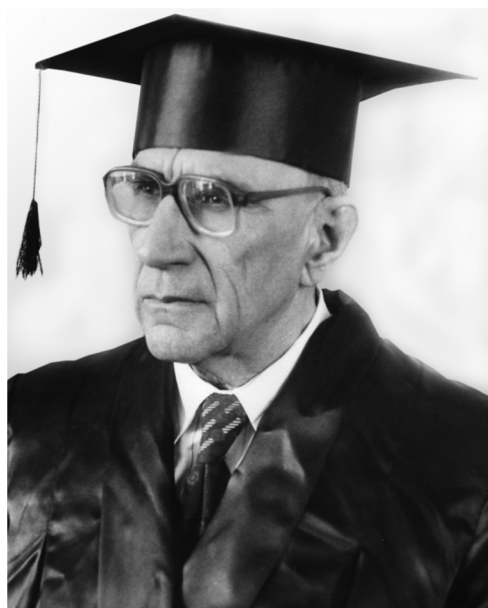
8 мая 2009 года исполнится 90 лет со дня рождения ведущего ученого России в области лесотехнической науки, заведующего кафедрой водных ресурсов Марийского государственного технического университета Юрия Яковлевича Дмитриева.

Ю. Я. Дмитриев родился в 1919 году на станции Великая Вятской губернии в многодетной семье лесничего. Его жизнь и судьба типичны для поколения, которое в детстве пережило голод 1933 года, рано повзрослело, осиротело, перенесло все тяготы войны 1941–1945 гг., послевоенную разруху.

Получив среднее образование в Кировской средней школе, Юрий Яковлевич в 1938 году поступил в Ленинградскую лесотехническую академию (ЛТА). Не закончив вуза, он в 1941 году ушел добровольцем на Ленинградский фронт. Воевал до Дня Победы сначала разведчиком, затем старшиной радистов отделения разведки артдивизиона Балтийского ВМФ. Судьба сберегла ему жизнь, но он остался инвалидом войны, что долго скрывал, не желая соболеваний и жалости. За проявленный героизм и мужество Юрий Яковлевич награжден орденом Красная Звезда и одиннадцатью медалями. После демобилизации в 1946 году Ю. Я. Дмитриев продолжил учебу в ЛТА, которую закончил в 1948 году. Трудовой путь Юрий Яковлевич начал в Пермской области старшим инженером и начальником участка Иньвенского сплавного рейда, затем работал главным инженером и директором Ново-Ильинского сплавного рейда, начальником производственно-технического отдела треста «Камлесосплав», совмещая производственную деятельность с научной. Он внедрил в производство самоходный плавающий агрегат по оснастке и ремонту плотов, а также маячный прикол для переформирования плотов.

Научную деятельность Ю. Я. Дмитриев продолжил в 1953 году аспирантом кафедры водного транспорта леса ЛТА. Одновременно он занимался преподавательской работой в качестве ассистента кафедры.

После окончания аспирантуры в 1957 году Юрий Яковлевич продолжил научно-педагогическую деятельность на кафедре водного транспорта леса и гидравлики Поволжского лесотехнического института, где проработал свыше 40 лет. Защитив кандидатскую (в 1959) и докторскую (в 1972) диссертации, профессор Ю. Я. Дмитриев активно готовил инженерные и научные кадры для лесной промышленности. Был заведующим кафедрой водного транспорта леса и геологии, деканом лесоинженерного фа-



культета, проректором по научной работе МарПИ. В течение трех лет (1972–1974) возглавлял Ставропольский политехнический институт. Он создал научную школу, подготовил 38 докторов и кандидатов технических наук. Юрий Яковлевич избран Почетным профессором Марийского и Ставропольского государственных технических университетов, Почетным гражданином г. Йошкар-Олы.

Профессор Ю. Я. Дмитриев систематически вел научные исследования по созданию искусственных водных потоков для продвижения лесоматериалов по лесосплавным рейдам и лесоперевалочным базам, гидравлической окорке древесины, совершенствованию работы лесоперевалочных предприятий, береговой плотке лесоматериалов, проектированию и сооружению береговых плотбищ, очистке водохранилищ от затонувшей древесины и др. Много внимания он уделял экологическим проблемам Среднего Поволжья, рациональному использованию биомассы деревьев. По заданию Правительства Марийской республики Ю. Я. Дмитриев руководил целевой комплексной программой «Марийский лес», а также работами по проблемам экологии рек, озер, водохранилищ. Главным направлением ученого оставались исследования гидравлических струй во взаимодействии с плавающими лесоматериалами на акватории лесосплавных рек. Им опубликовано более 200 научных работ, из них одиннадцать монографий, четыре учебника, получено 25 авторских свидетельств на изобретения – богатейшее наследие для студентов, инженеров, аспирантов, будущих ученых. Написанные при участии Ю. Я. Дмитриева монографии «Гидравлические ускорители на лесосплаве», «Гидравлическая окорка древесины», «Совершенствование работы лесоперевалочных предприятий», «Проектирование, строительство и эксплуатация плотбищ», «Динамические средства освоения водных ресурсов лесных комплексов» являются основополагающими исследованиями на стыке наук: гидродинамики, лесосплава и экологии.

В 1993 году Ю. Я. Дмитриев избран действительным членом Российской академии естественных наук. Он являлся инициатором организации Отделения, а затем Секции наук о лесе РАЕН и ее первым председателем. Он активно способствовал созданию и работе ее региональных отделений по всей России, особенно Волго-Вятского отделения наук РАЕН с центром в г. Йошкар-Оле. До последних дней академик Ю. Я. Дмитриев был директором созданного им Академического научно-исследовательского института управления лесобиологическим потенциалом России, стоял у истоков формирования диссертационного совета К 064.30.02 (сегодня Д 212.115.02) в качестве заместителя председателя.

Юрий Яковлевич – крупный общественный и политический деятель. В 1990 году был избран депутатом Верховного Совета Российской Федерации, председателем подкомитета по экологии человека. Под его руководством был подготовлен ряд законов по природообустройству и охране человека. Активно работал Юрий Яковлевич в «Лесном журнале», где многие годы был членом редколлегии, рецензентом и автором научных статей.

Академик Ю. Я. Дмитриев за заслуги в области науки, подготовки научных и инженерных кадров для лесной промышленности награжден орденом «Знак Почета», 20 медалями, почетными и нагрудными знаками. Он удостоен почетных званий заслуженного деятеля науки и техники РСФСР и МАССР, посмертно оставлен почетным председателем Секции наук о лесе Российской академии естественных наук. До последних дней своей жизни академик Ю. Я. Дмитриев – неутомимый исследователь и наставник сплавщиков, лесопромышленников, природопользователей – трудился на благо лесопромышленного факультета МарГТУ, который еще в годы юности стал для него стартовой площадкой в мир любимой науки о российском лесе и сплавных реках.

Умер Юрий Яковлевич на 79-м году жизни, 9 ноября 1997 года. Он прожил славную жизнь, много работал, много оставил. Мы благодарны своему учителю за полученные знания, привитую любовь к научному поиску, творческое отношение к подготовке инженерных и научных кадров для народного хозяйства России.

***Е. М. Романов, П. Ф. Войтко,
В. Я. Полянин, Ю. А. Ширнин***

Статья поступила в редакцию 04.02.09

***Ye. M. Romanov, P. F. Voitko,
V. Ya. Polyandin, Yu. A. Shirnin***

**TO 90TH ANNIVERSARY OF
YURIY YAKOVLEVICH DMITRIYEV**

8 May 2009 is 90 anniversary of a leading scientist of Russia in the sphere of forest engineering, Head of Water Resources Chair of the Mari State Technical University Yuriy Yakovlevich Dmitriyev.

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Редакция журнала «Вестник Марийского государственного технического университета» принимает к публикации статьи, соответствующие профилю издания, объемом не более 15 страниц, включая рисунки.

Статья должна содержать только оригинальный материал, отражающий результаты завершенных исследований автора, ранее не публиковавшихся.

К печати принимаются материалы, которые не опубликованы и не переданы в другие редакции. Рукописи проходят обязательное рецензирование. В «Вестнике ...» печатаются только статьи, получившие положительные рецензии.

Отклоненные в результате рецензирования материалы возвращаются в одном экземпляре (с приложением копии рецензии).

Автор передает журналу в лице его учредителя сроком на пять лет следующие исключительные имущественные права на материал: право воспроизводить произведение (право на воспроизведение); право распространять экземпляры произведения любым способом, в том числе продавать, сдавать в прокат (право на распространение); право импортировать экземпляры произведения в целях распространения (право на импорт); право сообщать произведение для всеобщего сведения по кабелю, проводам или с помощью иных аналогичных средств (право на сообщение для всеобщего сведения по кабелю); право переводить произведение (право на перевод).

Заявка об опубликовании материала, поступившая в адрес журнала, является конклюдентным действием, направленным на возникновение указанных прав и обязанностей.

Требования к оригиналам представляемых работ

Структура научной статьи

1. Аннотация (3-4 предложения), ключевые слова.
2. Введение (оценка состояния вопроса, основанная на обзоре литературы с мотивацией актуальности; выявленное противоречие, позволяющее сформулировать проблемную ситуацию).
3. Цель работы, направленная на преодоление проблемной ситуации (1-2 предложения).
4. Решаемые задачи, направленные на достижение цели.
5. Математическое, аналитическое или иное моделирование.
6. Техника эксперимента и методика обработки или изложение иных полученных результатов.
7. Интерпретация результатов или их анализ.
8. Выводы, отражающие новизну полученных результатов, показывающих, что цель, поставленная в работе, достигнута.

Требования к оформлению статьи

Статья должна быть представлена в электронном виде и компьютерной распечатке (2 экз.) на бумаге формата А4. Размер шрифта 12 пт, межстрочный интервал одинарный. Поля: справа – 2 см, слева, сверху и снизу – 3 см.

На первой странице статьи слева печатается УДК (размер шрифта 12 пт, прямой, светлый). Ниже, справа – инициалы, фамилия автора (размер шрифта 14 пт, курсив, жирный). Ниже, по центру – название статьи (размер шрифта 14 пт, прямой, полужирный).

Далее размещается аннотация. Аннотация статьи представляется на **русском и английском языках**.

Рисунки, графики, таблицы должны иметь нумерационный и тематический заголовки (размер шрифта 10 пт).

Таблицы и рисунки должны быть вставлены в текст после абзацев, содержащих ссылку на них.

Размеры иллюстраций не должны превышать размеров текстового поля (не более 15 см).

Список литературы оформляется согласно порядку ссылок в тексте (где они указываются в квадратных скобках) и обязательно в соответствии с ГОСТ 7.1-2003.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Статья должна быть подписана автором. После подписи автора и даты указываются его фамилия, имя, отчество (полностью), место работы, должность, область научных интересов, количество опубликованных работ, телефон, e-mail, домашний адрес.

К статье прилагаются следующие **документы**:

- рекомендация кафедры;
- экспертное заключение о возможности опубликования.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Подписка на журнал осуществляется по каталогу «Пресса России. Газеты и Журналы»
(подписной индекс **42920**, тематический указатель:
Научно-технические издания. Известия РАН. Известия вузов).

Следующий номер журнала выйдет в сентябре 2009 года.