

ВЕСТНИК 1(11) 2011

МАРИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научный журнал

Издаётся с ноября 2007 года

Выходит три раза в год

СЕРИЯ «Лес. Экология. Природопользование»

Журнал включен в **ПЕРЕЧЕНЬ** ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (решение Президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России от 19 февраля 2010 г. №6/6)

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, 68-28-41

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 – редактор серии)

В. П. Бессчетнов, д-р биол. наук, профессор
(Нижний Новгород)

О. Н. Бурмистрова, д-р техн. наук, профессор (Ухта)

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

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

Ю. Н. Гагарин, канд. с.-х.н., исполнительный директор Международного института леса (Москва)

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

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

М. А. Шалагина

Подписано в печать 27.04.11.

Формат 60×84 1/8. Усл. п. л. 13.02.

Тираж 500 экз. Заказ № 45.

Марийский государственный

технический университет

424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Отпечатано с готового оригинал-макета

в ООО «Реклайн»

424007, Йошкар-Ола,

ул. Строителей, 95

СОДЕРЖАНИЕ ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

В. Л. Черных, Е. С. Вдовин, Д. М. Ворожцов. Совершенствование методики выборочной таксации запаса древостоев на примере Учебно-опытного лесничества Республики Марий Эл
А. А. Мамаев, Е. М. Романов, Д. И. Мухортов. Оценка эффективности использования элементов питания сеянцами древесных растений на слабокультуренных дерново-подзолистых почвах

В. И. Казаков, А. В. Чукарина. Особенности усовершенствованной технологии выращивания сеянцев сосны в условиях степного Придонья
Р. Н. Матвеева, О. Ф. Буторова, Н. М. Уфимцева. Рост кедра сибирского на ПЛСУ, формируемом в лесных культурах

С. А. Денисов, Ю. П. Глушкова. Особенности роста плантационных культур ели при выращивании балансовой древесины в связи с лесоводственными уходами

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

М. Ю. Смирнов, И. Р. Бакулина. Анализ границ экономической эффективности погрузки, вывозки и выгрузки лесоматериалов звеньями автопоездов

А. Г. Гороховский, Е. Е. Шишкина, А. А. Гороховский. Оптимизация режимов сушки пиломатериалов

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

А. Г. Поздеев, Ю. А. Кузнецова, Ю. В. Лоскутов, А. Е. Трухан. Анализ последствий разрушения подводных переходов нефтепроводов и их влияния на экологическое состояние водотоков

В. С. Воскресенский, О. Л. Воскресенская. Изменение активности окислительно-восстановительных ферментов у древесных растений в условиях городской среды

А. Г. Поздеев, И. А. Полянин, Е. М. Царев, Ю. А. Кузнецова. Совершенствование средств инженерно-экологического обустройства водохранилищ гидроэлектростанций

Э. А. Курбанов, М. А. Яцков, О. Н. Воробьев, А. В. Губаев, С. А. Лезнин. Опыт сохранения уникальных лесов и биологического разнообразия в национальных парках западного побережья Соединенных Штатов Америки

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

А. В. Кусакин, Ю. Г. Мальков, Н. Б. Нуреев. Газизуллин Ахмадулле Хадиевичу – 80 лет
Информация для авторов

CONTENTS FORESTRY

V. L. Chernykh, E. S. Vdovin, D. M. Vorozhtsov. Perfection methods of forest stands stocks selective taxation on the example of Mari El Republic Scientific-experimental forestry
A. A. Mamaev, E. M. Romanov, D. I. Mukhortov. Efficiency estimation of fertilizer elements use with woody plants seedlings on low-cultivated sod-podzolic soils

V. I. Kazakov, A. V. Chukarina. Pine seedlings cultivation advanced technology features under the steppe Pridonya conditions

R. N. Matveeva, O. F. Butorova, N. M. Ufimtseva. Siberian cedar growth at the permanent seed plantation, forming in forest cultures

S. A. Denisov, Yu. P. Glushkova. Spruce plantation growth features to grow paper wood in connection with silvicultural care

FORESTRY TECHNOLOGIES AND MACHINES

M. Yu. Smirnov, I. R. Bakulina. Economic efficiency limits analysis of loading, transportation and unloading of timber with the help of road trains links

A. G. Gorokhovskiy, E. E. Shishkina, A. A. Gorokhovskiy. Optimization of timber drying schedules

PROBLEMS IN ECOLOGY AND RATIONAL NATURE EXPLOITATION

A. G. Pozdeev, Ju. A. Kuznetsova, Yu. V. Loskutov, A. E. Trukhan. Analysis of oil-trunk pipeline underwater passages destruction consequences and the influence on waterway ecological state

V. S. Voskressensky, O. L. Voskressenskaya. Redox enzymes activity changes in woody plants in the urban environment

A. G. Pozdeev, I. A. Polyinin, E. M. Tsarev, Ju. A. Kuznetsova. Development of hydrostation reservoirs engineering-ecological facilities

E. A. Kurbanov, M. A. Yatskov, O. N. Vorobyev, A. V. Gubayev, S. A. Leznin. Experience of conservation and biodiversity in national parks of the west coast of the USA

DATES. EVENTS. COMMENTS

A. V. Kusakina, Yu. G. Malkov, N. B. Nureev. Gazizullin Akhmadulla Khadievich is 80

Information for the authors

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630.524.63(470.343)

В. Л. Черных, Е. С. Вдовин, Д. М. Ворожцов

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ВЫБОРОЧНОЙ ТАКСАЦИИ ЗАПАСА ДРЕВОСТОЕВ НА ПРИМЕРЕ УЧЕБНО-ОПЫТНОГО ЛЕСНИЧЕСТВА РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ

Описана методика подготовительных работ для проведения государственной инвентаризации лесов. Приведены результаты выборочной инвентаризации лесного фонда Учебно-опытного лесничества. Выполнено сравнение выборочной таксации запаса лесных насаждений с классическим методом таксации. Предложен алгоритм определения мест закладки пробных площадей.

Ключевые слова: инвентаризация леса, вероятность, выборочные измерения, страта, пробная площадь, оценка запаса, изменчивость, точность.

Введение. Лес, лесные массивы представляют собой большие совокупности древостоев и деревьев в них, определение параметров которых на основе сплошных измерений практически недостижимо, т.е. в практике инвентаризации приходится иметь дело с очень большими совокупностями, все единицы которых изучить и охарактеризовать на основе сплошных измерений невозможно. В этом случае отбирают для измерений ограниченное число единиц (участков, пробных площадей, деревьев), с заданной точностью характеризующих изучаемую совокупность.

Результатом выборочного метода является получение средних таксационных показателей и запасов больших лесных массивов по измерениям на круговых пробных площадях (реласкопических или постоянного радиуса), закладываемых на территории объекта, на основе требований математической статистики, или же на ленточных пробных площадях по ходовым линиям через определенные интервалы.

Теоретической базой выборочных измерений являются законы теории вероятностей и математической статистики. В соответствии с этим при выборочном изучении лесных массивов путем закладки пробных площадей по определенной системе достигается получение всех необходимых характеристик лесного фонда с определением статистических показателей их оценок.

Сложившаяся в России структура лесоучетных работ формировалась в течение длительного периода времени, трансформируясь и совершенствуясь в зависимости от политических и экономических условий, а также научного и практического опыта в об-

ласти лесного хозяйства. В развитие лесоучетных работ большой вклад внесли многие выдающиеся ученые и известные практики лесного хозяйства: Г.Л. Гартиг, Ф.К. Арнольд, А.Р. Варгас де Бадемар, А.Ф. Рудзский, М.М. Орлов, Н.В. Третьяков, П.В. Горский, В.К. Захаров, А.В. Тюрин, Н.П. Анучин, А.А. Байтин и др. [1–3].

Статистические методы инвентаризации или обследования лесов на региональном и локальном уровнях проводились в России для рекогносцировочного выявления лесных ресурсов, оценки качественной структуры молодняков, инвентаризации лесов. Так, например, в 1925 году выборочно-статистическая инвентаризация лесов была осуществлена в Ленинградской области на площади 241 тыс. га.

В 70-х гг. прошлого столетия ВНИИЛМ [1, 2, 4] совместно с Всесоюзным объединением «Леспроект» разработали методику и провели статистическую инвентаризацию лесов Ивановской области. В конце 70-х гг. «Леспроект» был разработан и в последующем применен на площади около 400 млн. га фотостатистический метод инвентаризации резервных лесов северо-восточной части страны, базирующийся на дешифрировании аэро- и космических снимков. Для пустынных районов Средней Азии и Казахстана в 80-х гг. был разработан аналогичный метод и успешно применен на практике.

Однако статистические способы инвентаризации лесов в нашей стране не получили дальнейшего развития и распространения, поскольку на территории всей страны периодически проводились лесоустройство или повысительная инвентаризация лесов в пределах лесхозов, которые обеспечивали получение территориально привязанной (в атрибутивной и картографической формах) информации о лесах, это обеспечивало не только составление материалов по учету лесного фонда, но и текущее оперативное лесоуправление как на локальном, так и региональном уровнях.

Следует особо отметить, что получаемые при статистической инвентаризации лесов данные могут быть использованы для общей оценки лесных ресурсов, но они не могут заменить материалы лесоустройства при разработке лесных планов, лесохозяйственных регламентов, проектов освоения лесов. Возможно их использование при корректировке государственных лесных реестров на уровне субъектов федерации и по лесным районам.

Реформирование существовавшей структуры лесоучетных работ произошло с изменением Российского лесного законодательства в 2006 году. Впервые появилась формулировка «государственная инвентаризация лесов» (ГИЛ). Основной целью государственной инвентаризации в России является оценка состояния лесов, определения их количественных и качественных характеристик на основе выборочной таксации постоянных пробных площадей, а также и оценка эффективности мероприятий по охране, защите, воспроизводству лесов. Планируется получить достоверный и единовременный срез информации о состоянии лесов страны и произошедших в них изменениях. Предполагается, что внедрение ГИЛ позволит более эффективно управлять лесами на федеральном и региональном уровнях.

Отметим, что практические работы по проведению ГИЛ в России начались в 2008 году и не все методические вопросы окончательно решены.

Цель работы – совершенствование методики подготовительных работ и оценка точности результатов выборочной таксации при проведении государственной инвентаризации лесов.

Для реализации поставленных целей определены следующие **задачи**:

- стратификация лесного фонда объекта ГИЛ;
- оптимизация количества пробных площадей (ПП) для проведения ГИЛ;

- оценка точности определения запасов лесных насаждений при проведении ГИЛ.

Методика исследований. Опираясь на теорию вероятности и математическую статистику, лесной массив объекта ГИЛ может рассматриваться как генеральная совокупность, а следовательно, его параметры возможно оценить выборочными методами. При организации выборочной таксации необходимо учесть:

- 1) репрезентативность выборки, которая обеспечивается статистическим размещением пробных площадей по принятой регулярной сети;
- 2) минимальный объем выборки для достижения требуемой точности;
- 3) система ГИЛ должна быть независимой от других методов учета лесов [4].

Стратифицированная выборка – выборка, в которой генеральная совокупность разделена на частичные совокупности, которые сами по себе должны быть однородными, а между собой – разнородными. Выборка должна соответствовать генеральной совокупности по структуре.

Выбор схемы отбора проб. Для апробации существующей методики [5], которую применяет ФГУП «Рослесинфорг», нами проведена стратификация территории лесного фонда Учебно-опытного лесничества (уменьшенная копия объекта ГИЛ). В результате анализа таксационной характеристики лесного фонда выявлено 13 страт:

- хвойные (молодняки, средневозрастные, приспевающие, спелые);
- твердолиственные (молодняки, средневозрастные, приспевающие, спелые);
- мягколиственные (молодняки, средневозрастные, приспевающие, спелые);
- не покрытые лесом земли.

Расчет объёма выборки. Количество пробных площадей для каждой страты определяется по формуле

$$N = \frac{S^2 \cdot t^2}{(X \cdot g)^2},$$

где S^2 – дисперсия запасов древесины; t^2 – значение критерия Стьюдента ($t=1,96$ для вероятности 0,95); X – среднее значение запаса древесины, $\text{м}^3/\text{га}$; g – целевая точность (в долях ед.).

При принятии базовой точности ($g=10\%$) определения запаса по стратам общее количество пробных площадей составило бы 890 шт. Отметим, что доля пробных площадей, которая приходится на молодняки, составляет 63 %. Это связано с большой изменчивостью (табл. 1) запаса древостоев в этой страте.

При определении нормы пользования древесиной требования к точности оценки запаса в молодняках менее существенны, чем в спелых древостоях. Следовательно, в молодняках может быть установлена точность определения запаса $\pm 20\%$ за счет повышения точности определения в страте спелых древостоев до $\pm 5\%$ [6]. Исходя из этого, произведен расчет количества ПП по стратам для опытного объекта ГИЛ (табл. 1).

В соответствии с рабочими правилами ГИЛ [5] количество пробных площадей по лесничествам, входящим в состав исследуемого объекта, рассчитывается по общему количеству пробных площадей в данной страте, умноженному на удельный вес площади данной страты в этом лесничестве от общей площади страты в объекте ГИЛ.

Следует отметить, что алгоритм определения мест закладки ПП в существующей методике ГИЛ разработчиками Рослесинфорг закрыт [5] и реализован в программном комплексе Field-Map.

Места закладки ПП для проведения выборочной инвентаризации в объекте работы ГИЛ можно определять двумя способами.

Т а б л и ц а 1

Оптимальное количество пробных площадей по стратам

Хозяйство	Группа возраста	Шифр страты	Площадь, га	Средний запас, м ³	Стандартное отклонение, м ³	Коэффициент вариации, %	Количество пробных площадей, шт.
хвойное	молодняки	хм	2158,1	78	57,2	73	67
	средневозрастные	хср	5630,4	227	64,9	29	41
	приспевающие	хп	2802,6	236	47,6	20	20
	спелые	хсп	1376,9	265	40,7	15	47
мягколиственное	молодняки	мм	910,5	37	23,8	64	52
	средневозрастные	мср	2476,3	169	78,0	46	106
	приспевающие	мп	3029,9	223	56,5	25	32
	спелые	мсп	3375,3	266	56,4	21	90
твердолиственное	молодняки	твм	7,8	68	28,8	42	11*
	средневозрастные	тср	61,4	185	52,5	28	28*
	приспевающие	тп	30,1	189	51,9	27	10*
	спелые	тсп	1,9	78	57,2	0	0
не покр. лесом земли	-	нлз	95,1	-	-	-	4
		Итого	21956,3	-	-	-	559

Примечание: * – количество пробных площадей скорректировано ввиду большего количества проб, полученного расчётным путём, по сравнению с общим количеством выделов в данной страте. В выборку включены все таксационные выделы страты.

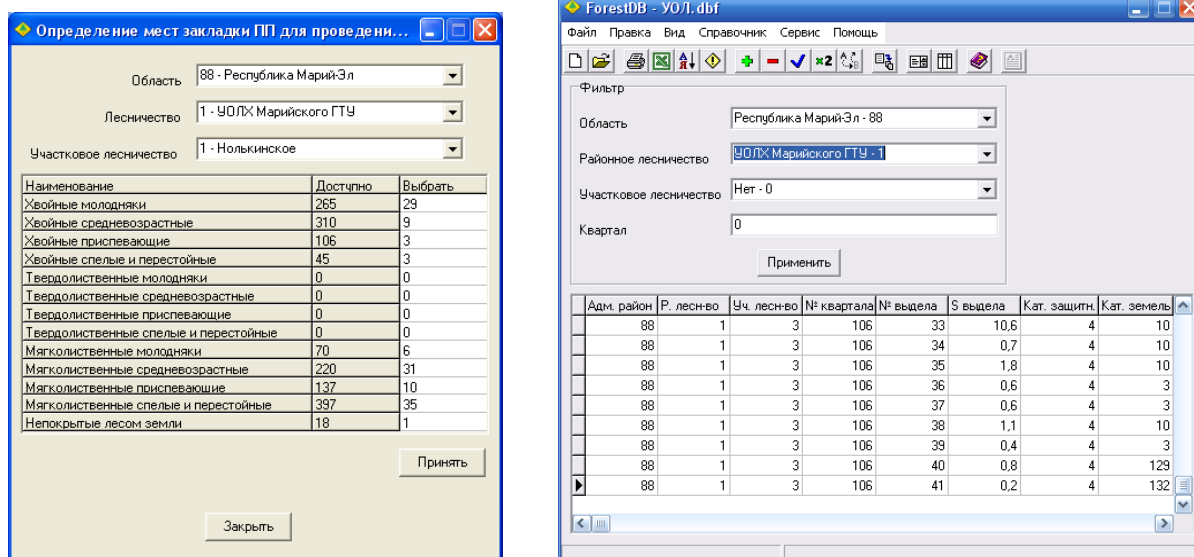


Рис.1. Интерфейс программного комплекса ForestDB

1. В среде ГИС (например, MapInfo) на план лесонасаждений объекта инвентаризации наносится сетка с размером ячейки 300×300 м (рекомендации методики ГИЛ Рослесинфорг). Далее на территории лесного фонда выбираются все точки, которые попа-

дают в каждую конкретную страту. Эта процедура выполняется с помощью SQL-запроса в среде ГИС. Полученная база данных точек регулярной сетки экспортируется в формате DBF в MS Excel, где производится случайный отбор мест закладки пробных площадей с использованием функции случайных чисел.

2. При наличии поведельной базы данных [7, 8] с помощью модуля «Определение мест закладки пробных площадей» программного комплекса «ForestDB» пользователь задаёт требуемое количество пробных площадей в страте. В результате расчётов с использованием функции случайных чисел определяются места закладки пробных площадей и формируются файлы по стратам с указанием списка номеров кварталов и выделов (рис. 1).

Конкретное размещение пробной площади в объекте работы ГИЛ определяется в среде ГИС с использованием регулярной сетки по следующему алгоритму (рис. 2).

Предлагаемые способы определения мест закладки пробных площадей при ГИЛ дают равнозначные результаты, но по практическому применению первый способ занимает больше времени.

Для пояснения хода работы рассмотрим первый способ определения мест закладки пробных площадей.

С помощью полевой карты, предварительно загруженной в GPS-приёмник, с нанесёнными на неё пробными площадями, находили требуемый выдел и проводили в нём измерительную таксацию согласно требованиям рабочих правил ГИЛ [5] и лесоустроительной инструкции [9].

Для формирования базы данных лесотаксационной характеристики пробных площадей и материалов лесоустройства по стратам нами использован модуль «Карточка таксации» программного комплекса «ForestDB» [7]. С помощью этого модуля выполнялись и расчёты средних таксационных показателей по стратам и методам таксации.

Определение ошибки оценки запаса древостоя. Использование безвозвратной выборки при ГИЛ обосновано тем, что на практике встречаются варианты, когда необходимое число пробных площадей равно или не намного больше количества объектов в страте. В этом случае ошибка выборочной средней запаса в страте рассчитывается по формуле [10]

$$\mu = \sqrt{\frac{s^2}{n} \left(1 - \frac{n}{N}\right)},$$

где s^2 – дисперсия выборочной совокупности при определении запаса;

n – численность выборки, шт.;

N – численность генеральной совокупности, шт.

В табл. 2 приведен расчет выборочных характеристик запаса древостоев по стратам.

В молодняках изменчивость запаса оказалась очень большой, а точность оценки средних значений по стратам и методам таксации не выходит за пределы 10 %.

На рис. 3 представлены диаграммы для сравнения значений среднего запаса древостоев, вычисленных по данным лесоустройства и данным выборочной таксации для каждой страты в отдельности. Оказалось, что наименьшие отклонения имеются в страте спелых насаждений до ± 4 % и в страте приспевающих насаждений до ± 7 %. Следует отметить, что материалы лесоустройства занижают средние запасы на 1 га во всех стратах от 0,4 % в спелых и перестойных насаждениях до 21,6 % в молодняках в сравнении с данными, полученными выборочным методом. Исключением являются спелые хвойные насаждения, где различие среднего запаса составило +4,2 %.

Т а б л и ц а 2

Статистические показатели запаса по стратам, полученные различными методами таксации

Страта (шифр)	Статистические показатели оценки запаса			
	$\bar{X}$, м ³ /га	m_x , м ³ /га	V , %	P , %
Выборочная таксация				
хм	90	7,0	77	9,4
хср	257	10,1	20	3,2
хп	238	10,6	18	4
хсп	254	5,9	27	4
мм	45	3,3	60	8,3
мср	184	7,6	40	3,9
мп	239	10,0	21	3,6
мсп	267	6,0	19	2
Глазомерно-измерительная таксация (материалы лесоустройства)				
хм	78	6,7	73	9,0
хср	227	10,0	29	4,5
хп	236	10,5	20	4,5
хсп	265	5,6	15	2,2
мм	37	3,1	64	8,9
мср	169	7,2	46	4,5
мп	223	9,8	25	4,5
мсп	266	5,6	21	2,2

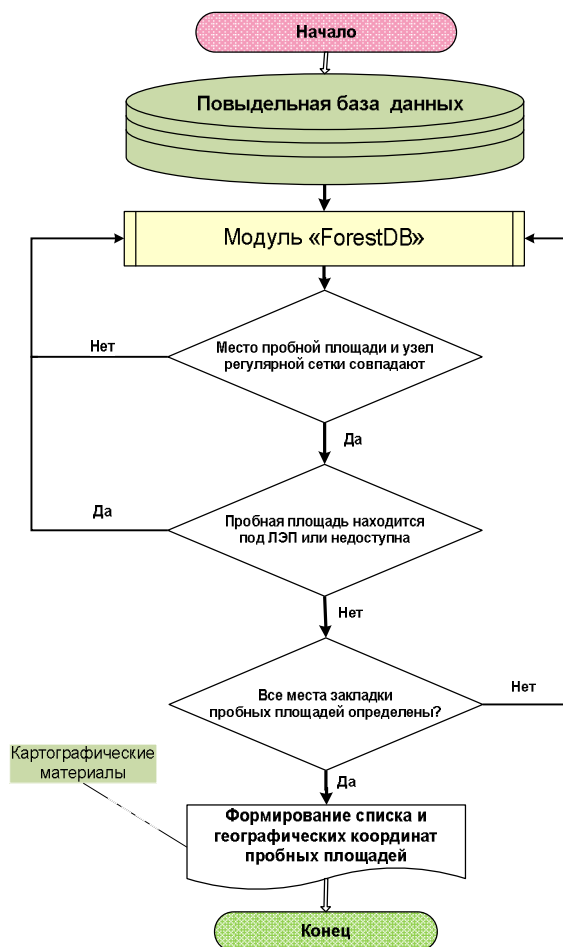


Рис.2. Алгоритм определения мест закладки пробных площадей

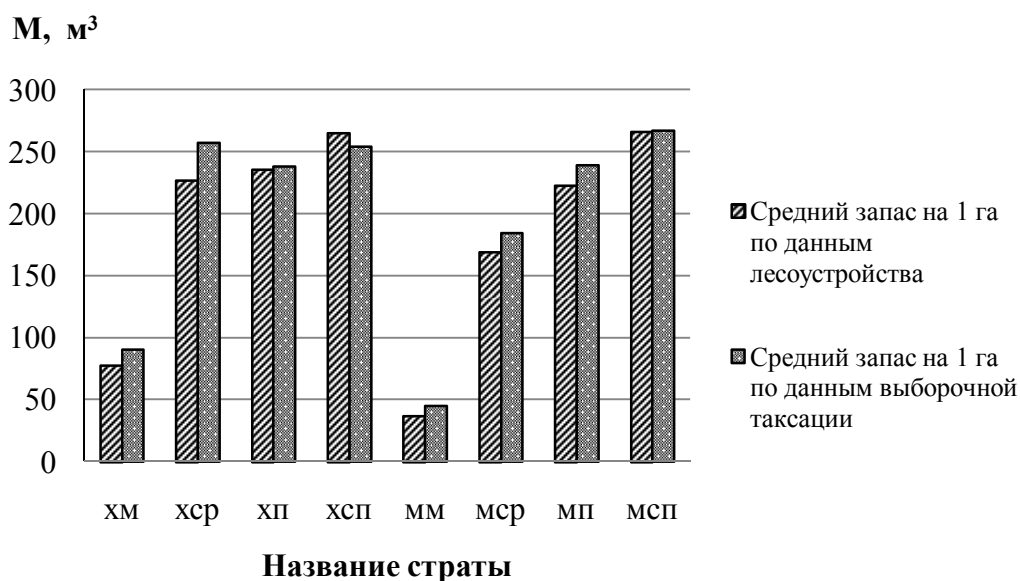


Рис. 3. Сравнение значений запасов, вычисленных по данным лесоустройства и данным выборочной таксации

В табл. 3 приведены средние таксационные показатели по преобладающим породам в спелых насаждениях.

Т а б л и ц а 3

Средние таксационные показатели по преобладающим породам в спелых насаждениях

Средние таксационные показатели	Береза			Осина			Сосна			Ель		
	<i>H, м</i>	<i>D, см</i>	<i>КТ, ед</i>	<i>H, м</i>	<i>D, см</i>	<i>КТ, ед</i>	<i>H, м</i>	<i>D, см</i>	<i>КТ, ед</i>	<i>H, м</i>	<i>D, см</i>	<i>КТ, ед</i>
Среднее	<u>26,7</u> 26,7	<u>25,4</u> 27,0	<u>2,0</u> 2,2	<u>25,3</u> 25,4	<u>27,3</u> 26,7	<u>2,9</u> 2,7	<u>28,0</u> 28,2	<u>33,9</u> 35,3	<u>1,0</u> 1,0	<u>26,9</u> 28,0	<u>32,0</u> 30,0	<u>1,2</u> 2,0
Стандартная ошибка	<u>0,1</u> 0,2	<u>0,1</u> 0,3	<u>0,0</u> 0,0	<u>0,1</u> 0,2	<u>0,4</u> 0,8	<u>0,0</u> 0,1	<u>0,1</u> 0,7	<u>0,3</u> 1,3	<u>0,0</u> 0,0	<u>0,2</u> 0,0	<u>0,5</u> 0,0	<u>0,1</u> 0,0
Медиана	<u>26,0</u> 26,0	<u>26,0</u> 26,0	<u>2,0</u> 2,0	<u>25,0</u> 25,0	<u>26,0</u> 26,0	<u>3,0</u> 3,0	<u>28,0</u> 28,0	<u>32,0</u> 32,0	<u>1,0</u> 1,0	<u>27,0</u> 28,0	<u>32,0</u> 30,0	<u>1,0</u> 2,0
Мода	<u>26,0</u> 25,0	<u>26,0</u> 26,0	<u>2,0</u> 2,0	<u>25,0</u> 25,0	<u>28,0</u> 26,0	<u>3,0</u> 3,0	<u>28,0</u> 27,0	<u>32,0</u> 32,0	<u>1,0</u> 1,0	<u>27,0</u> -	<u>32,0</u> -	<u>1,0</u> -
Стандартное отклонение	<u>2,6</u> 2,2	<u>3,7</u> 3,1	<u>0,2</u> 0,4	<u>1,5</u> 0,9	<u>5,8</u> 3,2	<u>0,5</u> 0,6	<u>2,5</u> 5,0	<u>5,7</u> 9,1	<u>0,2</u> 0,3	<u>1,4</u> -	<u>3,4</u> -	<u>0,4</u> -
Дисперсия выборки	<u>6,6</u> 4,7	<u>13,4</u> 9,7	<u>0,0</u> 0,1	<u>2,4</u> 0,9	<u>33,8</u> 10,0	<u>0,3</u> 0,3	<u>6,1</u> 25,2	<u>32,0</u> 83,7	<u>0,0</u> 0,1	<u>2,0</u> -	<u>11,5</u> -	<u>0,2</u> -
Точность, %	<u>0,4</u> 0,9	<u>0,5</u> 1,2	<u>0,4</u> 1,9	<u>0,4</u> 0,9	<u>1,5</u> 2,9	<u>1,2</u> 5,4	<u>0,4</u> 2,6	<u>0,8</u> 3,8	<u>1,0</u> 4,4	<u>0,8</u> -	<u>1,5</u> -	<u>4,9</u> -
Изменчивость, %	<u>9,7</u> 8,2	<u>14,6</u> 11,5	<u>10,0</u> 18,2	<u>5,9</u> 3,5	<u>21,2</u> 12,0	<u>17,2</u> 22,2	<u>8,9</u> 17,7	<u>16,8</u> 25,8	<u>20,0</u> 30,0	<u>5,2</u> -	<u>10,6</u> -	<u>33,3</u> -
Количество наблюдений, ед.	<u>750</u> 90	<u>750</u> 90	<u>750</u> 90	<u>192</u> 17	<u>192</u> 17	<u>192</u> 17	<u>424</u> 47	<u>424</u> 47	<u>424</u> 47	<u>47</u> 1	<u>47</u> 1	<u>47</u> 1
Уровень надежности (95,0 %)	<u>0,2</u> 0,5	<u>0,3</u> 0,7	<u>0,0</u> 0,1	<u>0,2</u> 0,5	<u>0,8</u> 1,6	<u>0,1</u> 0,3	<u>0,2</u> 1,5	<u>0,5</u> 2,7	<u>0,0</u> 0,1	<u>0,4</u> -	<u>1,0</u> -	<u>0,1</u> -

Примечание: в числителе приведены показатели по материалам лесоустройства, в знаменателе – по материалам выборочной таксации

Точность оценки таксационных показателей (*D*, *H* и *КТ* – класса товарности) по материалам выборочной и производственной таксации не выходят за пределы 5 %.

Выводы. Внедрение государственной инвентаризации лесов на основе выборочного метода таксации пробных площадей дает возможность получить информацию о лесах с известной точностью.

Показатель точности оценки запаса лесных насаждений выборочным методом колеблется от $\pm 2,1$ % в спелых насаждениях до $\pm 9,4$ % в молодняках.

Относительные отклонения среднего запаса на 1 га по данным выборочной таксации от аналогичного показателя по материалам лесоустройства находятся в пределах от +15 до -4 % в спелых древостоях, а в приспевающих и средневозрастных стратах не выходят за пределы +15 %, в мягколиственных молодняках достигают значения +21,6 %. Таким образом, данные выборочной таксации не превышают допустимой ошибки при глазомерно-измерительном способе таксации лесов, за исключением мягколиственных молодняков. Большая ошибка в этой страте вызвана высоким варьированием запаса древостоя элемента леса.

Разработан и апробирован алгоритм определения мест закладки пробных площадей в среде ГИС MapInfo и программного комплекса «ForestDB».

Список литературы

1. Федосимов, А.Н. Инвентаризация леса выборочными методами / А.Н. Федосимов – М.: Лесная промышленность, 1986. – 192 с.
2. Федосимов, А.Н. Выборочная таксация леса / А.Н. Федосимов, В.Г. Анисочкин. – М.: Лесная промышленность, 1979. – 170 с.
3. Филиппчук, А.Н. Определения объема выборки для государственной инвентаризации лесов России / А.Н. Филиппчук, Д.В. Хлюстов, Г.Н. Чадин // Лесной вестник. – М.: 2009. – N 3 (66). – С 64–66.
4. Сухих, В.И. Проблемы лесопользования и лесостроительства в современной России / В.И. Сухих, Р.Ф. Трейфельд // Лесное хозяйство. – 2009. – №5. – С. 31–34.
5. Государственная инвентаризация лесов Российской Федерации. Временные рабочие правила проведения полевых работ. – М.: Рослесинфорг, 2008. – 68 с.
6. Глушников, И.С. Оптимизация выборки при проведении государственной инвентаризации лесов / И.С. Глушников, О.И. Глушников // Лесное хозяйство. – 2009. – №2. – С. 46–47.
7. Черных, В.Л. Система формирования базы данных таксационной характеристики лесного участка – System of forming data base for forest inventory (ForestDB) / Черных В.Л., Ануфриев М.А., Ворожцов Д.М., Бажин О.Н. и др. // Современное состояние и перспективы применения ГИС-технологий и аэрокосмических методов в лесном хозяйстве и садово-парковом строительстве. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2008. – С. 117–120.
8. Черных, В.Л. Геоинформационные системы в лесном хозяйстве: Учебное пособие для вузов / В.Л. Черных. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. – 200 с.
9. Лесоустроительная инструкция. Приказ МПР России № 31 от 06.02.2008 г.
10. Лакин, Г.Ф. Биометрия: Учебное пособие для вузов / Г.Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.

Статья поступила в редакцию 17.01.11.

V. L. Chernykh, E. S. Vdovin, D. M. Vorozhtsov

PERFECTION METHODS OF FOREST STANDS STOCKS SELECTIVE TAXATION ON THE EXAMPLE OF MARI EL REPUBLIC SCIENTIFIC-EXPERIMENTAL FORESTRY

A preparatory work method for National Forest Inventory is offered. The sampling inventory results of the forest resources of a Scientific-experimental forestry are presented. Comparison of a selective taxation of the forest stands stock with the classical method of taxation is carried out. An indicator plots laying allocation algorithm is offered.

Key words: forest inventory, probability, sampling measurement of the stratum, indicator plot, reserves estimation, variability, accuracy.

ЧЕРНЫХ Валерий Леонидович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесной таксации и лесостроительства МарГТУ, заслуженный лесовод Республики Марий Эл. Область научных интересов – проблемы лесной таксации, математического моделирования, информационных и ГИС-технологий в лесном хозяйстве. Автор (соавтор) 18 монографий, лесотаксационных справочников, учебных пособий, пяти авторских свидетельств на программное обеспечение и более 250 методических разработок и статей.

E-mail: sitlx@mail.ru

ВОРОЖЦОВ Дмитрий Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры лесной таксации и лесостроительства МарГТУ. Область научных интересов – статистическая обработка изображений, математическое моделирование и информационные технологии в лесном хозяйстве. Автор двух авторских свидетельств на программное обеспечение, 13 методических разработок и статей.

E-mail: VorozhtsovDM@marstu.net

ВДОВИН Евгений Сергеевич – аспирант кафедры лесной таксации и лесостроительства МарГТУ. Область научных интересов – обработка изображений, математическое моделирование и информационные технологии в лесном хозяйстве. Автор 12 публикаций.

E-mail: VdovinES@marstu.net

УДК 630*232.411.5

А. А. Мамаев, Е. М. Романов, Д. И. Мухортов

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ СЕЯНЦАМИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ НА СЛАБООКУЛЬТУРЕННЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ

*Изучено содержание элементов питания в органах сеянцев древесных растений на примере ели европейской (*Picea abies*) и сосны обыкновенной (*Pinus silvestris*) при выращивании на слабоокультуренных дерново-подзолистых почвах лесных питомников. Определены показатели выноса элементов питания с сеянцами и с почвой.*

Ключевые слова: лесные питомники, содержание и вынос элементов питания сеянцами, слабоокультуренные дерново-подзолистые почвы.

Введение. Питание растений является сложным физиологическим процессом. Исследованию влияющих на него факторов посвящено много работ [1]. Вопросы питания древесных растений, несмотря на более поздние сроки начала изучения по сравнению с сельскохозяйственными культурами, также достаточно освещены. Результаты исследований по данному направлению опубликованы в работах А.Р. Чистякова, А.А. Даниловой, А.П. Щербакова, С.И. Слухай, В.И. Волкорезова, В.М. Лавриченко, П.Г. Кального, Н.Д. Васильева, З.С. Чурагуловой, Г.А. Игауниса, Г.Я. Маттиса, В.С. Победова, Е.М. Романова, Н.В. Кречетовой, Т. Ingsted, J. Wehrmann и других ученых [2]. В итоге разработана теория питания древесных растений, установлены химический состав и соотношения элементов питания по породам, разработаны методы диагностики потребностей древесных растений в недостающих элементах питания, определены показатели выноса и эффективность использования элементов питания из почвы и удобрений, доказана возможность использования расчетного балансового метода при определении доз внесения удобрений в лесных питомниках под запланированную урожайность. Но за прошедшее время почвенно-экологические условия в лесных питомниках существенно изменились. На текущий момент большинство почв лесных питомников деградировано и отнесено к слабоокультуренным [2–4]. В опубликованных ранее работах не указывается степень окультуренности почв. Опыты И.С. Шатилова с сельскохозяйственными культурами показывают, что степень окультуренности существенно влияет на усвоение элементов питания [5]. Таким образом, оценка эффективности использования элементов питания сеянцами древесных растений на слабоокультуренных дерново-подзолистых почвах имеет определенный научный и практический интерес.

Цель работы – определить эффективность использования элементов питания сеянцами древесных растений на слабоокультуренных почвах.

Решаемые задачи – определить содержание и вынос элементов питания при выкопке сеянцев, рассчитать коэффициенты использования элементов питания из почвы и удобрений.

Техника эксперимента. Оценку эффективности использования элементов питания сеянцами древесных растений проводили на основе учета их выноса с сеянцами и с почвой. Показатели выноса определяли у трехлетних сеянцев ели европейской (*Picea abies*) и двухлетних сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus silvestris*). Для оценки выноса определяли содержание азота, фосфора и калия в почве и органах сеянцев [6]. Основные исследования были проведены на дерново-слабоподзолистых песчаных и легкосуглинистых слабоокультуренных почвах базисного лесного питомника НП «Марий Чодра». Исследование проводилось по вариантам с внесением органических (торф, НОМУЛП), минеральных и комбинированном внесении органических и минеральных удобрений. Дозы удобрений устанавливались согласно практическим рекомендациям [7]. На опытных участках выполнялся полный комплекс агротехнических приемов по уходу за посевами в оптимальные для их проведения сроки.

Анализ результатов. Проведенное исследование содержания элементов питания в органах сеянцев позволило выявить отклонения от оптимальных значений по всем показателям. Оптимальным для сеянцев сосны считается содержание азота в хвое 2,4–3,2, фосфора – 0,15–0,4, калия – 0,9–1,6 %. Для сеянцев ели оптимальные значения содержания азота в хвое находятся в интервале 1,8–2,4, фосфора – 0,10–0,30, калия – 0,7–1,1 % [8]. Полученные в результате исследования значения относятся к «диапазону умеренного недостатка» [9]. Пониженное содержание элементов питания в сеянцах обусловлено слабой окультуренностью дерново-подзолистых почв (табл. 2). Легкосуглинистые почвы характеризуются низким содержанием гумуса и повышенной плотностью сложения. Песчаные почвы характеризуются низким содержанием гумуса и калия. Повышенная плотность почв и низкое содержание калия отрицательно сказались на режиме минерального питания сеянцев.

Т а б л и ц а 1

Содержание органического вещества и элементов питания в органах сеянцев

Порода	Орган растения	Вариант опыта	Среднее значение содержания элементов питания ($\bar{X} \pm m$)			
			Органическое вещество, г/100 шт.	Азот, %	Фосфор, %	Калий, %
Ель 3-х лет, почва дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая слабоокультуренная	хвоя	Контроль	49,8±6,65	1,27±0,05	0,10±0,006	0,51±0,070
		P60K20	49,5±12,38	1,27±0,09	0,09±0,015	0,40±0,175
		Торф, 50 т/га	48,5±4,77	1,15±0,05	0,08±0,032	0,50±0,100
		НОМУЛП, 30 т/га	73,1±1,76	1,22±0,05	0,08±0,026	0,55±0,132
		Торф, 50 т/га+	63,2±1,17	1,10±0,08	0,10±0,035	0,54±0,150
		НОМУЛП,	57,3±8,67	1,54±0,09	0,09±0,032	0,59±0,201
		НСР 5 %	4,40	0,132	*	*
	стволики	Контроль	35,4±6,94	0,82±0,02	0,14±0,030	0,33±0,015
		P60K20	33,8±9,23	0,88±0,14	0,08±0,025	0,26±0,045
		Торф, 50 т/га	36,6±1,21	0,83±0,06	0,08±0,015	0,23±0,066
		НОМУЛП, 30 т/га	52,4±3,76	1,13±0,07	0,09±0,018	0,27±0,049
		Торф, 50 т/га+	48,0±2,92	1,13±0,07	0,09±0,021	0,29±0,075
		НОМУЛП,	44,9±9,92	1,00±0,10	0,09±0,032	0,30±0,100
		НСР 5 %	3,40	0,156	*	*
	корни	Контроль	21,8±1,32	1,09±0,03	0,10±0,006	0,33±0,065
		P60K20	25,3±7,57	0,99±0,09	0,08±0,020	0,27±0,075
		Торф, 50 т/га	19,9±0,89	0,74±0,05	0,09±0,021	0,26±0,090
		НОМУЛП, 30 т/га	33,5±1,97	1,16±0,05	0,12±0,015	0,32±0,085
		Торф, 50 т/га+	27,0±1,46	0,93±0,15	0,09±0,025	0,24±0,106
		НОМУЛП,	31,2±4,18	1,03±0,15	0,08±0,025	0,25±0,132
		НСР 5 %	3,92	0,182	*	*

Окончание таблицы 1

Порода	Орган растения	Вариант опыта	Среднее значение содержания элементов питания ($\bar{X} \pm m$)			
			Органическое вещество, г/100 шт.	Азот, %	Фосфор, %	Калий, %
Сосна 2-х лет, почва дерново-слабоподзолистая песчаная слабокультурная	хвоя	Контроль	51,4±2,22	1,85±0,08	0,07±0,015	0,75±0,135
		P20K30	56,7±4,70	1,93±0,21	0,07±0,001	0,59±0,115
		Торф, 50 т/га	52,3±2,94	1,97±0,11	0,08±0,012	0,52±0,140
		Торф, 150 т/га	57,1±2,35	1,97±0,12	0,08±0,012	0,52±0,140
		Торф, 50 т/га+P20K30	72,8±1,85	1,80±0,13	0,02±0,017	0,45±0,160
		Торф, 150	73,1±6,82	1,71±0,17	0,08±0,026	0,80±0,148
		НСР 5 %	6,94	*	0,028	0,025
	стволики	Контроль	17,6±2,03	1,00±0,08	0,11±0,021	0,46±0,080
		P20K30	22,9±1,99	1,37±0,07	0,08±0,008	0,52±0,108
		Торф, 50 т/га	23,3±2,79	1,50±0,10	0,05±0,017	0,38±0,133
		Торф, 150 т/га	22,5±2,30	1,49±0,13	0,05±0,015	0,04±0,049
		Торф, 50 т/га+P20K30	34,5±3,48	1,65±0,15	0,07±0,017	0,33±0,153
		Торф, 150	26,1±1,91	0,81±0,13	0,05±0,015	0,40±0,085
		НСР 5 %	4,22	0,201	0,028	0,197
	корни	Контроль	30,1±0,51	1,51±0,06	0,10±0,007	0,40±0,100
		P20K30	33,9±5,50	1,23±0,12	0,08±0,017	0,36±0,035
		Торф, 50 т/га	19,4±0,98	1,75±0,13	0,09±0,014	0,39±0,116
		Торф, 150 т/га	39,2±2,69	1,38±0,13	0,11±0,014	0,22±0,111
		Торф, 50 т/га+P20K30	38,4±2,25	1,51±0,14	0,09±0,015	0,24±0,135
		Торф, 150	29,5±4,58	1,52±0,14	0,08±0,018	0,21±0,119
		НСР 5 %	5,85	0,221	0,026	*

Примечание: НОМУЛП – органо-минеральное удобрение, полученное компостированием отходов гидролизно-дрожжевого производства и осадков сточных вод;

P₆₀K₂₀ – доза внесения фосфорных и калийных удобрений по действующему веществу;

Торф, 50 т/га – доза внесения торфа по сухому веществу;

НСР 5 % – наименьшее существенное различие при уровне точности 5 % [10];

* – существенных различий между средними значениями не выявлено.

Таблица 2

Агрохимическая характеристика почв

Почва	pH _{сол}	Гумус, %	P ₂ O ₅ , мг/100 г	K ₂ O, мг/100 г	Плотность сложения, г/см ³
Дерново-слабоподзолистая легко-суглинистая слабокультурная	4,8	1,8	12,4	16,0	1,4
Дерново-слабоподзолистая песчаная слабокультурная	5,8	1,6	22,0	6,8	1,2

Внесение различных видов удобрений на слабокультурных почвах показало неоднозначное влияние на накопление органического вещества и содержание элементов питания в органах сеянцев древесных растений. При выращивании сеянцев ели выявлено влияние внесения органо-минеральных удобрений НОМУЛП (30 т/га), торфа (50 т/га)+P₆₀K₂₀, НОМУЛП (30 т/га)+P₆₀K₂₀ на повышение органической массы сеянцев и снижение содержания азота; влияния на изменение содержания фосфора и калия не выявлено. При выращивании сеянцев сосны по совокупности исследуемых показателей также можно сказать о преимущественном влиянии совместного внесения органических и минеральных удобрений. По выносу органического вещества прослеживается однозначное влияние увеличения выноса. По изменению относительного содержания

элементов питания однозначного вывода нет. Влияние различных видов удобрений по исследуемым параметрам сильно варьирует. По содержанию азота в хвое сеянцев сосны между вариантами нет достоверных различий. В стволиках отмечено повышенное его содержание во всех вариантах с удобрениями за исключением варианта с внесением торфа (150 т/га)+P₂₀K₃₀. В корнях также выявлено повышенное содержание азота в вариантах с внесением удобрений за исключением варианта P₂₀K₃₀. По содержанию фосфора в органах сеянцев, за исключением стволиков, выявлено влияние лишь отдельных вариантов. В хвое сеянцев различия практически отсутствуют, пониженное содержание отмечено лишь в варианте торф (50т/га)+P₂₀K₃₀. В корнях различие выявлено лишь между вариантами P₂₀K₃₀, торф (150т/га)+P₂₀K₃₀ и торф (150т/га). В стволиках отмечено пониженное содержание во всех вариантах. По содержанию калия в хвое выявлено пониженное во всех вариантах с удобрениями за исключением торф (150т/га)+P₂₀K₃₀. В стволиках достоверно различаются лишь два варианта: торф (50т/га)+P₂₀K₃₀ и P₂₀K₃₀. В корнях различий между вариантами нет.

Анализ соотношения N/P в различных органах сеянцев подтверждает вывод о неблагоприятных лесорастительных условиях слабокультуренных почв (табл. 3). По данным З.С. Чурагуловой [11], оптимальным значением соотношения N/P для сеянцев сосны и ели является 8, 9 (в идеальных условиях оно незначительно изменяется между органами сеянцев). Почти во всех вариантах отмечено повышенное соотношение N/P. Соотношение N/P/K в хвое сеянцев также отличается от оптимального. В.М. Лавриченко [12] установил оптимальное соотношение азота, фосфора и калия для ели 60:9:31; для сосны – 67:7:26. В хвое исследуемых сеянцев сосны и ели наблюдается пониженное содержание фосфора и повышенное содержание азота, содержание калия близко к оптимальному.

Т а б л и ц а 3

Соотношение элементов питания в органах растений

Варианты опыта	N/P				N/P/K в хвое
	В вегетативных органах			В растении	
	хвоя	стволи- ки	корни		
Ель 3-х лет, почва дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая сильно деградированная					
Контроль	12,7	8,1	10,7	10,8	68:5:27
P ₆₀ K ₂₀	14,0	9,6	12,4	12,4	73:5:22
Торф, 50 т/га	14,4	10,4	8,2	11,6	66:5:29
НОМУЛП, 30 т/га	15,3	12,6	9,7	12,2	66:4:30
Торф, 50т/га+P ₆₀ K ₂₀	11,0	12,4	10,3	11,5	63:6:31
НОМУЛП, 30 т/га+P ₆₀ K ₂₀	17,1	11,1	12,9	14,2	69:3:28
Сосна 2-х лет, почва дерново-слабоподзолистая песчаная сильно деградированная					
Контроль	26,4	14,3	15,1	19,3	69:3:28
P ₂₀ K ₃₀	27,6	17,1	15,4	21,2	75:3:23
Торф, 50 т/га	32,3	30,0	19,4	27,8	82:3:15
Торф, 150 т/га	24,6	30,0	12,5	21,3	77:3:20
Торф, 50 т/га+P ₂₀ K ₃₀	90,0	23,6	16,8	29,1	79:1:20
Торф, 150 т/га+P ₂₀ K ₃₀	21,4	16,2	19,0	20,1	74:3:23

Линейные параметры сеянцев ели и выход стандартного посадочного материала с 1 га вследствие более высокого естественного плодородия оказались в пределах действующих нормативов [13]. Линейные параметры сеянцев сосны, выращенных на более бедных почвах, оказались ниже нормативных значений, доля нестандартных сеянцев достаточно велика и составила 31–35 % от общего выхода. При внесении удобрений

прослеживается лишь тенденция увеличения линейных параметров семян сосны и ели. Кроме того, отмечено отрицательное влияние использования минеральных удобрений ($P_{60}K_{20}$) на линейные параметры семян ели на легкосуглинистой почве.

Т а б л и ц а 4

Линейные параметры семян и выход посадочного материала

Варианты опыта	Биометрические показатели				Выход посадочного материала с 1 га		
	высота стволи- ка, см	теку- щий при- рост, см	длина корневой системы, см	диаметр корне- вой шейки, мм	Всего, млн.шт.	В т.ч. стандартного	
						млн.шт.	%*
Ель 3-х лет, почва дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая сильно деградированная							
Контроль	16,0±5,31	5,9±2,39	20,7±4,10	2,0±0,65	2,467±0,590	1,956±0,236	108,6±13,1
P ₆₀ K ₂₀	13,1±4,29	6,0±2,98	17,1±4,61	1,8±0,55	2,622±0,920	2,278±0,717	126,5±39,8
Торф, 50 т/га	16,1±5,62	5,8±2,47	21,0±4,40	1,9±0,67	3,233±0,338	2,744±0,375	152,5±20,8
НОМУЛП, 30 т/га	17,8±5,24	6,9±2,89	23,6±4,60	2,3±0,62	2,900±0,463	2,011±0,227	111,7±12,6
Торф+P ₆₀ K ₂₀	17,6±5,22	5,8±2,56	21,7±4,19	2,2±0,61	2,944±0,347	2,633±0,384	146,3±21,4
НО- МУЛП+P ₆₀ K ₂₀	17,2±4,83	6,6±2,89	22,6±3,27	2,2±0,57	2,667±0,333	2,544±0,255	141,4±14,1
НСР 5 %	2,00	0,96	2,10	0,24	*	0,562	31,2
Сосна 2-х лет, почва дерново-слабоподзолистая песчаная сильно деградированная							
Контроль	9,5±3,21	7,1±3,13	26,3±5,60	1,8±0,82	2,411±0,375	1,567±0,481	87,0±26,7
P ₂₀ K ₃₀	11,1±3,96	8,5±3,83	27,2±5,52	1,9±0,86	2,844±0,680	1,833±0,441	101,9±24,5
Торф, 50 т/га	10,4±3,10	7,0±3,07	25,3±6,61	2,0±0,90	3,022±0,675	2,133±0,384	118,5±21,4
Торф, 150 т/га	12,0±4,57	9,6±4,46	27,2±5,58	2,1±1,01	3,322±1,148	2,422±0,704	134,6±39,1
Торф, 50+P ₂₀ K ₃₀	9,5±3,16	6,5±3,14	26,0±4,56	1,9±0,71	2,611±0,217	2,078±0,135	115,4±7,5
Торф, 150+P ₂₀ K ₃₀	11,1±4,24	8,5±4,10	24,5±4,55	1,7±0,75	3,811±0,310	3,022±0,472	167,9±26,2
НСР 5%	1.99	1.96	*	*	0.883	0.558	31.0

Примечание: * – выход стандартного посадочного материала для ели составляет 1,800 млн.шт./га, сосны – 1,700 млн. шт/га.

Исследование массы почвы, отчуждаемой при выкопке семян, выращенных на слабоокультуренных почвах, показало заниженные значения по сравнению с опубликованными данными лишь при выращивании семян сосны без удобрений (табл. 5). В.С. Победовым [9] для дерново-подзолистых почв установлены значения выноса почвы с 1 млн.шт. семян ели в количестве 2600–2700, сосны – 2300–2600 кг. По результатам исследований отчуждение почвы сеянцами ели составило 3022 кг, сосны – 1414 кг. При внесении удобрений выявлено достоверное влияние на увеличение массы почвы, отчуждаемой с сеянцами ели, лишь в вариантах с органо-минеральными удобрениями (НОМУЛП, 30 т/га; торф, 50 т/га+ $P_{60}K_{20}$; НОМУЛП, 30 т/га+ $P_{60}K_{20}$). При выращивании семян сосны достоверные значения по сравнению с контролем получены для всех вариантов. Вынос элементов питания в целом невелик. Полученные данные значительно отличаются от опубликованных ранее. По данным В.С. Победова [9], с сеянцами сосны выносятся 39 кг азота, 10 кг фосфора, 15 кг калия; с сеянцами ели – 28, 13, 14 кг соответственно. Низкий вынос обусловлен малым весом семян вследствие низкого плодородия и окультуренности почв (вес одного семени, выращенного на слабоокультуренных почвах, составляет примерно 1 г против 4–5 на более плодородных разновидностях дерново-подзолистых почв).

Т а б л и ц а 5

Масса веществ, отчуждаемых при выкопке 1 млн.шт. семян, кг

Варианты опыта	Масса почвы	Органическая масса		Вынос азота		Вынос фосфора		Вынос калия	
		Се- янцы	Поч- ва	Се- янцы	Поч- ва	Се- янцы	Поч- ва	Се- янцы	Поч- ва
Ель 3-х лет, почва дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая сильно деградированная									
Контроль	3044±368,1	421	88	11,6	0,3	1,2	0,4	4,4	0,2
P ₆₀ K ₂₀	3022±489,1	423	81	11,8	0,4	0,9	0,4	3,5	0,2
Торф, 50 т/га	3779±515,9	409	180	10,1	0,5	0,9	0,5	3,8	0,3
НОМУЛП, 30 т/га	4061±458,2	921	214	18,7	0,5	1,4	0,7	6,5	0,3
Торф, 50 т/га+P ₆₀ K ₂₀	3987±582,0	702	248	14,8	0,5	1,3	0,6	5,5	0,3
НОМУЛП, 30 т/га+P ₆₀ K ₂₀	5130±513,3	627	278	16,5	0,4	1,2	1,0	5,5	0,5
НСР 5 %	875,9	125,1	43,3	3,31	0,11	0,27	0,13	1,07	0,07
Сосна 2-х лет, почва дерново-слабоподзолистая песчаная сильно деградированная									
Контроль	1414±433,8	386	15	15,8	0,1	0,9	0,2	5,9	0,0
P ₂₀ K ₃₀	1521±274,0	489	15	18,2	0,1	0,9	0,2	5,7	0,1
Торф, 50 т/га	2475±595,3	365	97	17,2	0,3	0,7	0,4	4,4	0,1
Торф, 150 т/га	2678±778,6	530	149	20,0	0,5	1,0	0,4	3,9	0,1
Торф, 50 т/га+P ₂₀ K ₃₀	2997±194,3	796	117	24,6	0,2	0,8	0,4	5,4	0,1
Торф, 150 т/га+P ₂₀ K ₃₀	3599±561,8	690	259	19,1	0,4	1,0	0,7	7,5	0,3
НСР 5 %	912,6	57,6	46,7	1,94	0,13	0,09	0,15	0,65	0,05

Показатели выноса элементов питания позволили определить использование питательных веществ сеянцами из почвы (табл. 6).

Т а б л и ц а 6

Коэффициенты использования элементов питания

Вариант	Коэффициенты использования элементов питания		
	N	P	K
Ель 3-х лет, почва дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая сильно деградированная			
Без удобрений (из почвы)	17,15	1,57	9,20
P ₆₀ K ₂₀	0,00*	0,00*	0,00*
Торф, 50 т/га	0,71	0,86	5,99
НОМУЛП, 30 т/га	10,36	1,06	8,13
Сосна 2-х лет, почва дерново-слабоподзолистая песчаная сильно деградированная			
Без удобрений (из почвы)	49,7	0,8	17,1
P ₂₀ K ₃₀	39,54	2,14	15,32
Торф, 50 т/га	4,22	0,00	0,00
Торф, 150 т/га	2,29	0,92	2,86

Примечание: 0,00* – использование элементов питания из удобрений отсутствует.

Выявлено, что для слабокультуренных почв характерны низкие значения выноса фосфора с сеянцами. Так, коэффициент использования фосфора сеянцами ели на дерново-слабоподзолистой легкосуглинистой слабокультуренной почве составил 1,6 %; сеянцами сосны на дерново-слабоподзолистой песчаной слабокультуренной почве – всего лишь 0,8 %. Полученные коэффициенты использования азота и калия сопоставимы с усредненными показателями использования элементов питания из почвы зерновыми культурами: азот – 20–25, фосфор – 5–7, калий – 10–12 % [14]. Также следует от-

метить очень высокое использование азота сеянцами сосны, дополнительно свидетельствующее о неблагоприятных лесорастительных свойствах слабокультуренных дерново-подзолистых почв. При внесении удобрений тенденция низкого использования элементов питания сохраняется. Использование минеральных удобрений оказалось эффективным лишь на слабокультуренных песчаных почвах, но коэффициенты их использования также были невысокими по сравнению с данными других исследователей [9, 11]. На дерново-слабоподзолистой легкосуглинистой слабокультуренной почве использование минеральных удобрений оказалось неэффективным, т.к. коэффициенты использования питательных веществ из удобрений равны нулю. Использование элементов питания из органических удобрений оказалось малоэффективным. Наибольший эффект показало использование органо-минерального удобрения (НОМУЛП).

Выводы.

1. При выращивании посадочного материала на слабокультуренных почвах изменяется режим минерального питания сеянцев, обуславливая пониженное содержание основных элементов питания в органах растений, формирование более мелких, менее развитых сеянцев и низкий вынос с отчуждаемой продукцией. Коэффициенты использования элементов питания сеянцами из слабокультуренной дерново-подзолистой почвы занижены по сравнению с более окультуренными подвидами данного типа почв. При выращивании сеянцев ели на дерново-слабоподзолистой легкосуглинистой слабокультуренной почве коэффициенты использования составили: азота – 17,5, фосфора – 1,6, калия – 9,2 %. При выращивании сеянцев сосны на дерново-слабоподзолистой песчаной слабокультуренной почве были получены следующие коэффициенты использования: азота – 49,7, фосфора – 0,8, калия – 17,1 %.

2. Внесение удобрений на слабокультуренных почвах оказывает неоднозначное влияние. Установлено положительное влияние применения удобрений на увеличение выхода стандартного посадочного материала. В то же время выявлено накопление азота во всех органах древесных растений без изменения содержания фосфора, что может отрицательно сказаться на устойчивости сеянцев в зимний период. Особенно сильно эта тенденция прослеживается на песчаных почвах.

3. По видам удобрений наибольший эффект при выращивании сеянцев ели и сосны отмечен при внесении органо-минеральных удобрений. Коэффициенты использования элементов питания из НОМУЛП сеянцами ели на дерново-слабоподзолистой легкосуглинистой среднедеградированной почве составили: азота – 10,4, фосфора – 1,1, калия – 8,1 %. Коэффициенты использования элементов питания из торфа сеянцами ели на данной разновидности почв составили: азота – 0,7, фосфора – 0,9, калия – 6 %. Минеральные удобрения оказались неэффективными. При выращивании сеянцев сосны наибольший эффект на дерново-слабоподзолистой песчаной сильно деградированной почве отмечен при внесении минеральных удобрений. Коэффициент использования азота из мочевины составил 40, фосфора из суперфосфата – 2,1, хлористого калия – 15,3 %. Коэффициенты использования элементов питания из торфа составили: азота – 2,3–3,2, фосфора – 0–0,9, калия – 0–2,9 %.

В целом, можно сделать вывод о низкой эффективности использования элементов питания при выращивании сеянцев древесных растений на слабокультуренных почвах, даже при внесении удобрений. Для повышения эффективности необходимо проведение полного комплекса мелиоративных мероприятий.

Список литературы

1. Муравин, Э.А. Агрохимия / Э.А. Муравин. – М.: Колос, 2003. – 384 с.
2. Романов, Е.М. Выращивание сеянцев древесных растений: биоэкологические и агротехнические аспекты / Е.М. Романов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2000. – 494 с.

3. *Мамаев, А.А.* Определение степени деградации почв базисного питомника НП «Марий Чодра» / А.А. Мамаев, Т.П. Михеева // Наука в условиях современности: сборник статей студентов, аспирантов, докторантов и ППС по итогам научно-практической конференции МарГТУ в 2007 г. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. – С.28–31.
4. *Романов, Е.М.* Использование органических отходов в лесном хозяйстве / Е.М. Романов, Д.И. Мухортов // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2007. – № 1. – С. 22–29.
5. *Шатилов, И.С.* Баланс азота, фосфора и калия в полевом севообороте в условиях интенсивного земледелия / И.С. Шатилов, А.Г. Замараев, Г.В. Чаповская // Интенсификация сельскохозяйственного производства и проблемы защиты окружающей среды. – М., 1980. – С. 19–29.
6. Практикум по агрохимии / Э.А. Муравин, Л.В. Обуховская, Л.В. Ромодина. – М.: КолосС, 2005. – 288 с.
7. Окультуривание и повышение плодородия почв лесных питомников Европейской части России: Практические рекомендации / Сост. В.Н. Кураев, Л.И. Баркова. – М.: Федеральная лесная служба, Центральная лесосеменная станция, 1994. – 71 с.
8. *Indestad, T.* Macro element nutrition of pine, spruce, and birch seedlings in nutrient solutions / T. Indestad // Medd. Statens skogsforskningsinst 1962–1963. – V.51. – №7. – 150 p.
9. *Победов, В.С.* Использование удобрений в лесном хозяйстве. Обзор / В.С. Победов, В.Е. Волчков, П.С. Шиманский. – М.: ЦБНТИлесхоз, 1973. – 60 с.
10. *Доспехов, Б.А.* Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Колос, 1979. – 416 с.
11. *Чулагулова, З.С.* Почвы лесных питомников и пути их рационального использования / З.С. Чулагулова. – М.: Лесная промышленность, 1974. – 144 с.
12. *Лавриченко, В.М.* Минеральное питание древесных растений / В.М. Лавриченко, З.В. Иванова // Сб. работ Моск. лесотехн. ин-та. – Вып.17. – М., 1968. – С. 142–152.
13. Правила лесовосстановления / Утверждены Приказом МПР России от 16.07.2007 N 183.
14. *Пруцков, Ф.М.* Интенсивная технология возделывания зерновых культур / Ф.М. Пруцков, И.П. Осипов. – М.: Росагропромиздат, 1990. – 269 с.

Статья поступила в редакцию 02.02.11.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (государственный контракт № П208 от 22 июля 2009 г.)

A.A. Mamaev, E.M. Romanov, D.I. Mukhortov

EFFICIENCY ESTIMATION OF FERTILIZER ELEMENTS USE WITH WOODY PLANTS SEEDLINGS ON LOW-CULTIVATED SOD-PODZOLIC SOILS

A fertilizer elements content in the seedlings parts of some woody plants is investigated on the example of a fur spruce (Picea excelsa) and a Scotch pine (Pinus sylvestris) when cultivation on low-cultivated sod-podzolic forest nurseries soils. The parameters of elements removal with seedlings and with the soil are determined.

Key words: forest nurseries, fertilizer elements content and removal with seedlings, low-cultivated sod-podzolic soils.

МАМАЕВ Алексей Александрович – старший преподаватель кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ МарГТУ. Область научных интересов – искусственное лесовосстановление. Автор 10 публикаций.

E-mail: MamaevAA@marstu.net

РОМАНОВ Евгений Михайлович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур и механизации МарГТУ. Область научных интересов – искусственное лесовосстановление. Автор более 160 публикаций.

E-mail: rector@marstu.net

МУХОРТОВ Дмитрий Иванович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ МарГТУ. Область научных интересов – применение органических отходов при искусственном лесовосстановлении. Автор 55 публикаций.

E-mail: MuchortovDI@marstu.net

УДК 630.232.32

В. И. Казаков, А. В. Чукарина

ОСОБЕННОСТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ В УСЛОВИЯХ СТЕПНОГО ПРИДОНЬЯ

Приведены результаты исследований процесса выращивания сеянцев сосны в условиях степного Придонья. Изучено влияние густоты размещения растений на показатели роста сеянцев сосны обыкновенной и крымской. Установлено влияние сроков и глубины подрезки корней растущих сеянцев сосны на их развитие.

Ключевые слова: питомники, посадочный материал, сеянцы, лесорастительные условия.

Введение. Эффективность создания искусственных насаждений при лесоразведении и лесовосстановлении во многом определяется качеством посадочного материала, выращиваемого в лесных питомниках. Производственный опыт и проведенные исследования показывают, что наиболее эффективным для создания лесных культур хвойных пород является крупномерный посадочный материал, выращенный с выполнением определенных агроприемов, позволяющих сформировать компактную, хорошо развитую корневую систему растений и получить лучшее соотношение массы тонких корней к массе хвои.

Проведенными исследованиями установлена рациональная норма высева семян с равномерно разреженным размещением их в посевной строчке, обеспечивающая необходимую площадь питания растений [1–4]. Обоснованы сроки, параметры и режимы подрезки корней растущих сеянцев, позволяющие получить у них компактную корневую систему. Однако эти исследования были проведены в лесной зоне и полученные рекомендации не могут быть в полной мере использованы при выращивании посадочного материала сосны в засушливых условиях степного Придонья.

Для того чтобы вырастить сеянцы сосны с требуемыми параметрами надземной части, одним из основных условий является их равномерно разреженное размещение в пределах посевной строчки, причем достаточное по густоте, чтобы исключить повреждение ветровой эрозией. Поэтому представляет интерес определение рациональной густоты размещения растений при выращивании сеянцев сосны в условиях степного Придонья. В связи с этим целесообразно усовершенствовать технологию выращивания сеянцев сосны обыкновенной и крымской в лесных питомниках степного Придонья на основе новых агроприемов и современных средств механизации.

Цель работы – усовершенствование технологии выращивания посадочного материала сосны обыкновенной и сосны крымской в условиях степного Придонья на основе агроприемов, повышающих качество сеянцев.

Решаемые задачи: 1) изучение влияния густоты размещения сеянцев сосны обыкновенной и сосны крымской на их биометрические показатели и массу; 2) определение влияния сроков и параметров подрезки корней сеянцев сосны обыкновенной и сосны крымской на показатели их роста.

Методика и объекты. Перспективная технология выращивания сеянцев сосны обыкновенной и сосны крымской в условиях степного Придонья предусматривает применение новых средств механизации и усовершенствованных агроприемов. Исследованная технология выращивания сеянцев включает дополнительные агротехнические приёмы, обеспечивающие равномерно разреженный посев с уменьшенной нормой высева, подкормку сеянцев минеральными удобрениями, подрезку корней растущих сеянцев и применение стимуляторов роста. Предусматривается использование семян высокого качества и, в первую очередь, с улучшенными наследственными свойствами.

Ожидаемое преимущество посадочного материала, выращенного по предложенной технологии, может состоять в том, что применение органических удобрений и минеральных подкормок, а также увеличение площади питания каждого растения будет способствовать повышению качественных показателей сеянцев. Подрезка корней растущих сеянцев формирует компактную корневую систему. Выращенный посадочный материал для лесокультурных работ будет обладать лучшей приживаемостью в неблагоприятных почвенных условиях и качественно новым потенциалом роста.

Объектами исследований служили сеянцы сосны обыкновенной и сосны крымской. Исследования проводились в открытом грунте Пигаревского питомника Вешенского лесничества Ростовской области на песчаных почвах в течение 2002–2009 гг.

Опытные участки закладывались в 4-кратной повторности на выровненном почвенном агрофоне механизированным посевом с помощью модернизированной сеялки СЛУ-5-20 по 5-рядной схеме с расстоянием между посевными строчками 22,5 см (22,5-22,5-22,5-22,5-60 см) с одновременным внесением 50–80 кг/га гранулированного двойного суперфосфата.

Для разделения семян по размеру использовалась машина МОС-1А. При сортировке выделяли семена: крупные (более 2,3 мм), средние (2,0...2,3 мм) и мелкие (менее 2,0 мм). Мелкая фракция составляла всего 4 % и её объединяли со средней.

Подготовка семян сосны обыкновенной к посеву включала выдерживание намооченных семян при пониженных температурах (0 ... $\pm 2^{\circ}\text{C}$) в течение двух месяцев. За два месяца до посева замоченные в течение суток семена в слабом растворе микроэлементов помещали в мешочки из редкой ткани, затем мешочки с семенами тонким слоем раскладывали на площадку с утрамбованным снегом.

При выращивании посадочного материала сосны подготовка почвы в посевном отделеении включала севообороты, вспашку и дополнительную обработку почвы, внесение удобрений и применение химических препаратов для борьбы с сорняками, вредителями и болезнями растений.

Биометрические показатели растений определяли в конце вегетационного периода не менее чем с 30 растений в каждом варианте.

Экспериментальные данные обработаны с использованием методов вариационной статистики.

Результаты исследований. Результаты исследований сеянцев сосны обыкновенной, приведенные в табл. 1, показывают, что при уменьшении густоты размещения растений от 100...110 до 70...80 шт./пог. м средний диаметр корневой шейки сеянцев увеличивается на 1,0 мм, т.е. на 39,4 %, а средняя высота возрастает незначительно (на 0,1 см). При дальнейшем уменьшении густоты размещения до 50...60 шт./пог. м средний диаметр увеличивается на 1,0 мм, что составляет 29,4 % по отношению к среднему диаметру при густоте 70...80 шт./пог. м. Средняя высота при этом увеличивается на 1,2 см, т.е. менее чем на 7 %. При снижении густоты размещения до 30...40 шт./пог. м средний диаметр уменьшился незначительно (в пределах 5 %), а средняя высота увели-

чилась на 2,5 см по сравнению со средней высотой при густоте 50...60 шт./пог. м и на 3,7 см по сравнению с контролем. При густоте 30...40 шт./пог. м сеянцы имели наибольший прирост по высоте 15,3 см и лучшее соотношение массы тонких корней к массе хвои ($M_{\text{тк}}/M_{\text{х}}$), что свидетельствует о лучшем развитии корневой системы растений.

Т а б л и ц а 1

Биометрические показатели и масса двухлетних сеянцев сосны обыкновенной при различной густоте их размещения

Густота размещения, шт./пог. м	Средний диаметр, мм $D \pm m$	Средняя высота, см $h \pm m$	Средний прирост, см $Z_h \pm m$	Масса фракций 100 шт. сеянцев в воздушно-сухом состоянии, г			$\frac{M_{\text{тк}}}{M_{\text{х}}}$
				стволики	хвоя ($M_{\text{х}}$)	тонкие корни ($M_{\text{тк}}$)	
30...40	4,4±0,2	22,1±1,5	15,3±1,2	145,9	403,1	80,6	1:5
50...60	4,6±0,2	19,6±0,7	13,5±0,6	163,4	569,4	94,9	1:6
70...80	3,5±0,1	18,5±0,5	11,3±0,7	125,0	365,1	45,6	1:8
100...110 (контроль)	2,5±0,3	18,4±0,9	11,7±0,8	91,7	286,1	35,8	1:8

Таким образом, снижение густоты размещения сеянцев сосны обыкновенной до 30...40 шт./пог. м дает существенное увеличение биометрических показателей, особенно средней высоты и среднего прироста по высоте. При этом получено лучшее соотношение $M_{\text{тк}}/M_{\text{х}}$. Дальнейшее снижение густоты размещения растений нецелесообразно, так как посевы подвергаются выдуванию ветром, увеличивается вероятность полегания сеянцев.

Результаты измерений сеянцев сосны крымской, приведенные в табл. 2, показали, что с уменьшением густоты размещения растений от 80...90 до 60...70 шт./пог. м средний диаметр корневой шейки сеянцев практически не изменяется. Средняя высота увеличивается на 2,8 см. При дальнейшем уменьшении густоты размещения до 40...50 шт./пог. м наблюдается незначительное уменьшение среднего диаметра, однако средняя высота при этом увеличивается на 0,7 см. Со снижением густоты размещения до 20...30 шт./пог. м средний диаметр увеличивается на 0,5 мм, т.е. на 11 %, а средняя высота увеличивается на 1,7 см, т.е. на 10 %. При густоте 20...30 шт./пог. м сеянцы имеют наибольший прирост по высоте (12,9 см) и лучшее соотношение $M_{\text{тк}}/M_{\text{х}}$ (1:5), что свидетельствует о лучшем развитии корневой системы растений.

Т а б л и ц а 2

Биометрические показатели и масса двухлетних сеянцев сосны крымской при различной густоте их размещения

Густота размещения, шт./пог. м	Средний диаметр, мм $D \pm m$	Средняя высота, см $h \pm m$	Средний прирост, см $Z_h \pm m$	Масса фракций 100 шт. сеянцев в воздушно-сухом состоянии, г			$\frac{M_{\text{тк}}}{M_{\text{х}}}$
				стволики	хвоя ($M_{\text{х}}$)	тонкие корни ($M_{\text{тк}}$)	
20...30	4,5±0,2	19,6±0,7	12,9±0,6	149,0	531,9	106,4	1:5
40...50	4,1±0,2	18,0±1,0	10,3±0,7	144,5	411,0	68,5	1:6
60...70	4,7±0,2	17,3±1,2	9,7±1,0	159,3	446,4	55,8	1:8
80...90 (контроль)	4,6±0,3	14,5±0,8	7,2±0,6	126,0	319,1	35,5	1:9

По результатам проведенных исследований установлено, что снижение густоты размещения сеянцев сосны крымской до 20...30 шт./пог. м дает существенное увеличение биометрических показателей и массы растений и рекомендуется для использования при выращивании посадочного материала сосны крымской. Однако дальнейшее снижение нормы высева может привести к гибели посевов, поскольку сосна крымская более чувствительна к водной и ветровой эрозии. Густота в 20...30 шт./пог. м является минимальным барьером устойчивости сеянцев сосны крымской к полеганию.

Проведенные исследования показали, что развитие двухлетних сеянцев сосны обыкновенной и сосны крымской в условиях степного Придонья определяется густотой размещения растений в посевной строчке. Равномерно разреженный посев сосны обыкновенной с нормой высева 0,5 г/пог. м и сосны крымской с нормой высева 1,25 г/пог. м дает лучшие показатели качества посадочного материала.

Для формирования компактной и хорошо развитой корневой системы сеянцев необходимо проводить подрезку их корневых систем. С целью изучения влияния подрезки корней у растущих сеянцев на формирование их корневых систем были проведены опыты. Основной целью этих опытов являлось определение рациональной глубины подрезки и сроков ее выполнения. Ранее проведенными поисковыми исследованиями установлено, что подрезку корней сеянцев сосны необходимо проводить или до начала вегетационного периода (начало мая) или после завершения прироста в высоту (вторая половина июля).

Подрезка корней проводилась в трех вариантах: с подрезкой вертикальных корней на глубину 10, 20 и 30 см. Так как подрезка корней растущих сеянцев осуществлялась вручную, то при этом одновременно проводилась подрезка горизонтальных корней на расстоянии 10...12 см от стволиков. В качестве контроля использовался участок без подрезки корней.

Результаты исследования качественных показателей сеянцев сосны обыкновенной при подрезке корней представлены в табл. 3.

Таблица 3

Показатели роста двухлетних сеянцев сосны обыкновенной при подрезке корней

Сроки подрезки	Глубина подрезки, см	Средний диаметр, мм $D \pm m$	Средний прирост, см $Z_h \pm m$	Масса 100 шт. сеянцев в воздушно-сухом состоянии, г			$\frac{M_{тк}}{M_x}$
				стволики	хвоя M_x	тонкие корни $M_{тк}$	
без подрезки	-	$2,5 \pm 0,3$	$11,7 \pm 0,8$	91,7	286,1	35,8	1:8
Май	10	$2,6 \pm 0,2$	$10,6 \pm 0,6$	63,6	216,9	72,3	1:3
	20	$2,8 \pm 0,3$	$11,5 \pm 0,5$	70,0	258,1	51,6	1:5
	30	$3,3 \pm 0,2$	$12,0 \pm 0,5$	81,8	357,1	51,0	1:7
Июль	10	$3,3 \pm 0,1$	$11,3 \pm 0,4$	104,1	330,4	66,1	1:5
	20	$3,7 \pm 0,2$	$11,5 \pm 0,9$	113,7	396,4	66,0	1:6
	30	$4,0 \pm 0,2$	$11,9 \pm 0,6$	122,3	430,0	61,0	1:7

При подрезке корней сеянцев в мае на глубину 10 см средний диаметр корневой шейки увеличивается на 0,1 мм, т.е. незначительно в пределах ошибки опыта, а средний прирост в высоту уменьшился на 1,2 см, т.е. не более чем на 10 %. При увеличении глубины подрезки от 10 до 20 см средний диаметр увеличивается по отношению к контролю на 0,3 мм, т.е. на 10 %, а средний прирост уменьшается на 0,3 см, что составляет не более 2 %. При дальнейшем увеличении глубины подрезки от 20 до 30 см средний

диаметр увеличился на 0,7 мм, а средний прирост – на 0,3 см. Масса физиологически активных корней в воздушно-сухом состоянии больше при подрезке корней сеянцев в мае на глубину 10 см и в этом случае наблюдается лучшее соотношение $M_{тк}/M_x$ (1:3).

При подрезке корней сеянцев в июле на глубину 10 см средний диаметр увеличивается на 0,8 мм, а средний прирост по высоте уменьшается на 0,4 см, т.е. так же незначительно, как и при подрезке в мае. Подрезка корней сеянцев в июле не оказывает существенного влияния на показатели роста двухлетних сеянцев сосны обыкновенной.

Таким образом, для условий степного Придонья для лучшего формирования корневой системы сеянцев сосны обыкновенной подрезку корней растений рекомендуется проводить в начале мая на втором году роста, горизонтальные корни подрезать на расстоянии 10...12 см от стволика и вертикальные корни – на глубине 10 см. Целесообразность проведения подрезки корней в мае объясняется достаточной влажностью песчаных почв и благоприятным температурным режимом в этот период. Подрезка в июле не желательна, особенно для горизонтальных корней, расположенных ближе к поверхности почвы, так как их восстановление весьма затруднено из-за летней засухи и глубокого залегания грунтовых вод и возможной ветровой эрозии.

При подрезке корней сеянцев сосны крымской (табл. 4) в мае на глубину 10 см наблюдается уменьшение среднего диаметра стволиков на 0,7 мм, т.е. на 15,2 %, а средний прирост в высоту увеличился при этом на 0,3 см, не более чем на 3,5 % по сравнению с контролем. С увеличением глубины подрезки корней от 10 до 20 см средний диаметр уменьшился на 0,6 мм, или на 12,3 %, а средний прирост – на 0,2 см т.е. менее 3 %. При дальнейшем увеличении глубины подрезки до 30 см средний диаметр уменьшился на 0,5 мм, а средний прирост увеличился на 1,1 см, т.е. на 15,3 %. Подрезка корней в мае не оказывает существенного влияния на биометрические показатели сеянцев сосны крымской. Однако масса физиологически активных корней в воздушно-сухом состоянии больше при подрезке корней на глубину 10 см. При этом получено лучшее соотношение $M_{тк}/M_x$ (1:3).

При подрезке сеянцев сосны крымской в июле на глубину 10 см наблюдается снижение среднего диаметра на 0,9 мм и увеличение прироста на 2,0 см по сравнению с контролем. При увеличении глубины подрезки до 20 см эта тенденция сохраняется. Подрезка корней на глубину 30 см не оказывает существенного влияния на показатели роста сеянцев сосны крымской. Лучшее соотношение $M_{тк}/M_x$ (1:4) получено при подрезке корней в июле на глубину 10 см. Однако оно ниже, чем при подрезке корней в мае.

Т а б л и ц а 4

Показатели роста двухлетних сеянцев сосны крымской при подрезке корней

Сроки подрезки	Глубина подрезки, см	Средний диаметр, мм $D \pm m$	Средний прирост, см $Z_h \pm m$	Масса 100 шт. сеянцев в воздушно-сухом состоянии, г			$\frac{M_{тк}}{M_x}$
				стволики	хвоя M_x	тонкие корни $M_{тк}$	
без подрезки	-	3,0±0,3	7,2±0,6	126,0	319,1	35,5	1:9
май	10	3,0±0,2	7,5±0,4	97,6	318,0	106,0	1:3
	20	4,0±0,2	7,0±0,7	115,2	309,6	62,0	1:5
	30	4,1±0,4	8,3±0,5	131,4	492,7	61,6	1:8
июль	10	3,7±0,2	9,2±0,7	113,0	364,3	91,1	1:4
	20	4,3±0,2	9,0±0,3	134,5	484,5	80,8	1:6
	30	4,9±0,4	10,0±0,8	165,7	537,3	67,1	1:8

Выводы. В результате проведенных исследований усовершенствованной технологии выращивания сеянцев сосны для условий степного Придонья установлена рациональная густота размещения растений в посевной строчке для сосны обыкновенной в количестве 30...40 шт./пог.м и сосны крымской – 20...30 шт./пог.м.

Для получения компактной и хорошо развитой корневой системы сеянцев сосны целесообразно проводить подрезку их корневых систем в начале мая на глубину 10 см. Применение этих рекомендаций позволит получить качественный посадочный материал для создания лесных культур в условиях степного Придонья.

Список литературы

1. Казаков, В.И. Технологии и механизация выращивания посадочного материала в питомниках лесной зоны / В.И. Казаков. – М.: ВНИИЛМ, 2001. – 186 с.
2. Лобанова, Е.Н. Улучшение качества сеянцев ели и сосны агротехническими приемами в питомниках центральной части зоны хвойно-широколиственных лесов / Е.Н. Лобанова. – Автореф. дис...канд. с.-х. наук. – Пушкино: ВНИИЛМ, 1998. – 22 с.
3. Смирнов, Н.А. Выращивание посадочного материала для лесовосстановления / Н.А. Смирнов. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 169 с.
4. Смирнов, Н.А. Рекомендации по технологии и комплексу машин для выращивания укрупненного посадочного материала ели европейской без перешколивания / Н.А. Смирнов, В.И. Казаков. – Пушкино: ВНИИЛМ, 1991. – 22 с.

Статья поступила в редакцию 01.02.11.

V. I. Kazakov, A. V. Chukarina

PINE SEEDLINGS CULTIVATION ADVANCED TECHNOLOGY FEATURES UNDER THE STEPPE PRIDONYA CONDITIONS

Research results of pine seedlings cultivation in the steppe Pridonya conditions are brought. Plants placement density influence on the growth of Scotch and Crimean pine seedlings is researched. Some influence of the term and the depth of roots cutting of the growing pine seedlings on their development is determined.

Key words: nurseries, planting material, seedlings, sites.

КАЗАКОВ Владимир Иванович – доктор сельскохозяйственных наук, генеральный директор ОАО «ЦОКБлесхозмаш». Область научных интересов – технологии и средства механизации для лесного хозяйства. Автор более 150 публикаций, в том числе шести монографий.

E-mail: cokbles@mail.ru

ЧУКАРИНА Алла Васильевна – научный сотрудник филиала ФГУ «ВНИИЛМ» «Южно-европейская НИЛОС», ст. Вешенская Ростовской обл. Область научных интересов – лесовосстановление и выращивание посадочного материала. Автор семи публикаций.

E-mail: donnilos@veshki.donpac.ru

УДК 630.235.2

Р. Н. Матвеева, О. Ф. Буторова, Н. М. Уфимцева

РОСТ КЕДРА СИБИРСКОГО НА ПЛСУ, ФОРМИРУЕМОМ В ЛЕСНЫХ КУЛЬТУРАХ

*В Красноярском лесничестве Красноярского края создается ПЛСУ кедр-
сибирского в лесных культурах, заложенных в 1969 году. Рубки формиро-
вания проведены в 1993–2005 гг. По модельным деревьям прослежена дина-
мика роста за последние 20 лет с учетом погодных условий.*

Ключевые слова: ПЛСУ, кедр сибирский, формирование, динамика роста.

Введение. Работы по переводу семеноводства хвойных пород на генетико-селекционную основу и созданию постоянной лесосеменной базы ведутся в стране с 1950 года. Основным методом семеноводства является отбор ценных популяций и отдельных генотипов, сформировавшихся в процессе эволюции в конкретных лесорастительных условиях [1].

В соответствии со Стратегией развития лесного комплекса РФ до 2020 года, одним из приоритетных направлений является использование методов лесной генетики и селекции при создании лесных селекционно-семеноводческих центров [2].

Создана обширная сеть объектов генетико-селекционного комплекса, включающих ПЛСУ. Наиболее значимые результаты в этом направлении получены по сосне обыкновенной. Опыт формирования ПЛСУ сосны обыкновенной приведен в работах В.П. Рябых, О.Н. Беспаленко, А.Г. Шугурова [3, 4] и др. В.Е. Кулаковым [5] проанализированы особенности роста кедра сибирского на ПЛСУ, созданного на базе естественного подростка в Колыванском лесхозе Новосибирской области. Исследования на ПЛСУ кедра сибирского, формируемого в лесных культурах, ведутся в недостаточном объеме, несмотря на то, что кедр сибирский является одним из наиболее ценных видов, выполняющим не только природоохранные, санитарно-гигиенические функции, но и обеспечивающим получение орехов, имеющих пищевое значение [6–8]. Особое внимание при формировании ПЛСУ уделяется изреживанию, что способствует развитию кроны, своевременному вступлению деревьев в пору семеношения.

Цель работы – изучить особенности роста кедра сибирского 19–39-летнего возраста на ПЛСУ в Красноярском лесничестве Красноярского края, выделить быстрорастущие и отстающие в росте деревья для последующих приемов изреживания для дальнейшего формирования семенного участка.

Объекты исследований. ПЛСУ кедра сибирского заложен в лесных культурах, которые были созданы в 1969 году посадкой трехлетних сеянцев в осочко-разнотравной группе типов леса. Почвы серые лесные среднечеткие легкосуглинистые. Борозды были нарезаны плугом ПЛ-70, посадка проведена в дно борозд при схеме размещения посадочных мест 5х0,5 м. Две секции (1 и 5) размещены на западном склоне крутизной 5–6°, три – (№ 7, 9, 10) – на северном крутизной 10°. Состав древостоя перед началом формирования ПЛСУ (1992 год) был одинаковым: 4К4Б2Ос (табл. 1).

Через 24 года после создания лесных культур высота кедра сибирского составила 4–6 м; березы, осины – 12–25 м. В 39-летнем возрасте после проведения шести приемов

рубков формирования ПЛСУ (1993, 1994, 2000, 2003–2005 гг.) путем изреживания с удалением естественного возобновления мягколиственных пород с интенсивностью 18, 26, 20 и 18 % соответственно густота растений кедр сибирского составила 748 шт./га.

Т а б л и ц а 1

Возраст деревьев на секциях перед началом формирования ПЛСУ (1992 г.)

Номер секции	Экспозиция, крутизна склона	Возраст (лет) деревьев		
		кедр	береза	осина
1	Зап., 5–6°	24	25	60
5	Зап., 5–6°	24	60	50
7	Сев., 10°	24	40	60
9	Сев., 10°	24	45	60
10	Сев., 10°	24	30	40

Методика исследований. В каждой секции были заложены пробные площади прямоугольной формы, захватывающие по ширине четыре ряда культур и включающие по 100 экземпляров деревьев. На пробных площадях проведен сплошной пересчет деревьев с определением биометрических показателей: высоты, диаметра ствола на высоте 1,3 м; диаметра и протяженности кроны. Высоту измеряли высотомером, кроны рулеткой в двух взаимноперпендикулярных направлениях, расстояние до кроны – мерным шестом с точностью до 0,1 м; диаметр ствола – штангенциркулем с точностью до 0,1 см. Полученные данные обрабатывали статистически, уровень варьирования показателей оценивали по шкале С.А. Мамаева, достоверность различий – по t-критерию.

Анализ динамики роста кедр сибирского был проведен по 25 модельным деревьям, отобранным на пробных площадях по средним таксационным показателям каждой секции. У них измеряли приросты центрального побега за последние 20 лет, установили их высоту в 19-летнем возрасте и рассортировали по группам высот в этом возрасте. Проанализировано влияние температурного режима и количества осадков на прирост побега за 20-летний период.

Результаты исследований. Температурный режим воздуха в первой-третьей декадах мая значительно варьировал по годам. За анализируемый период (1988–2007 гг.) средняя температура месяца, близкая к норме (9,2 °С), была в течение пяти лет: в 1989, 1994, 1997, 2000, 2007 гг. Ниже нормы на 0,6–3,0 °С температура воздуха оказалась в течение восьми лет: 1988, 1991, 1993, 1995, 1996, 1998, 2005, 2006 гг. Особенно холодным был май 1993 года. Раннее наступление вегетационного периода отмечено в 1990, 1992, 2001–2004 гг., поскольку средняя температура воздуха в мае повысилась на 0,8–3,2 °С в сравнении с многолетним значением. Особенно резкое потепление наблюдалось в 1990, 1999, 2001 гг., когда во всех трех декадах температура воздуха превышала норму на 6,7–9,5 °С.

В июне среднемесячная температура воздуха выше нормы на 2,2–3,2 °С была в 1994, 2000, 2001, 2003, 2006 гг., на 2,4–3,2 °С ниже – в 1988, 1989, 1995, 1998 гг. Обильное выпадение осадков в июне (в 1,4–1,7 раза больше среднего многолетнего значения) наблюдалось в 1990, 2003–2005 гг., засушливым (0,50–0,68 % от нормы) был июнь в 1991, 1992, 1998, 2000, 2006 гг.

В результате проведенных исследований было установлено, что сумма приростов в высоту за 20-летний период на различных секциях колебалась от 6,6 до 8,7 м, достигая наибольшего значения на секции № 5, что подтверждается t-критерием (табл. 2).

Установлена различная интенсивность роста деревьев на секциях, в результате чего к 39-летнему возрасту они имели высоту 9,9–12,5 м при диаметре ствола 18,0–22,5 см.

Высота растений на 9-й секции меньше, чем в остальных, что объясняется интенсивным заглушением кедра сибирского мягколиственными породами, первоначально имеющими наибольшую представленность в сравнении с другими секциями.

Т а б л и ц а 2

Показатели 39-летних деревьев на ПЛСУ

Номер секции	Высота		Сумма приростов за 1988–2007 гг.	
	$X \pm m$, см	t_{ϕ}	$X \pm m$, см	t_{ϕ}
1	11,8 $\pm$ 0,31	1,76	8,0 $\pm$ 0,23	1,46
5	12,5 $\pm$ 0,25	–	7,9 $\pm$ 0,26	1,62
7	10,7 $\pm$ 0,92	1,89	7,4 $\pm$ 0,56	1,86
9	9,9 $\pm$ 0,50	4,65	6,6 $\pm$ 0,57	2,97
10	12,4 $\pm$ 0,42	0,20	8,7 $\pm$ 0,42	–
Среднее значение	11,5 $\pm$ 0,48	1,85	7,7 $\pm$ 0,41	1,70

Анализ роста деревьев за 20-летний период (1988–2007 гг.) показал, что ежегодный прирост в высоту варьировал от 12 до 75 см, что составило 1,6–10,0 % от суммы приростов за этот период. В возрасте 20–23 лет прирост в среднем снизился до 36–40 см (5,1–5,4 %). Относительный периодический прирост высоты до проведения рубок ухода составлял 0,23–0,25.

После начала проведения рубок формирования (с 1993 года) прирост продолжал снижаться до 34 см (4,5 %). Затем с 1996 года прирост постепенно возрастал, варьируя от 35 до 39 см (4,6–5,2 %). После окончания рубок ухода (с 2005 года) наблюдалась тенденция к последующему увеличению годичного прироста до 42 см (5,6 %). Относительный периодический прирост составил 0,27–0,28.

Модельные деревья имели в 19-летнем возрасте высоту 2,2–5,3 м. Различие высоты, составлявшее в 1987 году 2,4 раза, сгладилось в 2007 году до 1,2 раза (табл. 3, рис. 1).

Т а б л и ц а 3

Динамика роста модельных деревьев в зависимости от их высоты в 19-летнем возрасте, м

Группа 19-летних деревьев по высоте, м	Год учета / возраст культур, лет					
	<u>1987</u> 19	<u>1988</u> 20	<u>1993</u> 25	<u>1998</u> 30	<u>2003</u> 35	<u>2007</u> 39
	до рубок ухода			в период рубок ухода		после рубок ухода
2,0–2,9	2,2	2,7	4,6	6,4	8,3	10,6
3,0–3,9	3,7	4,1	6,0	7,8	9,7	11,3
4,0–4,9	4,4	4,8	6,7	8,6	10,5	12,1
5,0–5,9	5,3	5,7	7,5	9,1	11,1	12,6

Изучен характер роста деревьев, сгруппированных по высоте. Так, деревья, имевшие в 20-летнем возрасте высоту 2,7 м, формировали относительный периодический прирост за пять лет, равный 0,23. В следующие пятилетние периоды, соответственно, сумма приростов составила 0,21–0,23, годичный – 36–38 см. В последние четыре года периодический прирост увеличился до 0,27, средний текущий – до 48 см. Детальный анализ показал следующее: в возрасте 20 лет годичный прирост моделей варьировал от 24 до 60 см при среднем значении 6,2 % от суммы приростов за этот период (рис. 2).

К началу формирования ПЛСУ (1993 год) текущий прирост постепенно снизился до 15–36 см вследствие заглушения кедра сибирского березой и осиной. Особенно за-

метно снизился прирост моделей в 1993–1996 гг., что связано также с меньшей суммой эффективных температур воздуха в третьей декаде мая – третьей декаде июня на 59,3–72,3 °С. После проведения рубок ухода прирост увеличился до 4,7–6,0 %. Деревья достигли средней высоты 10,6 м.

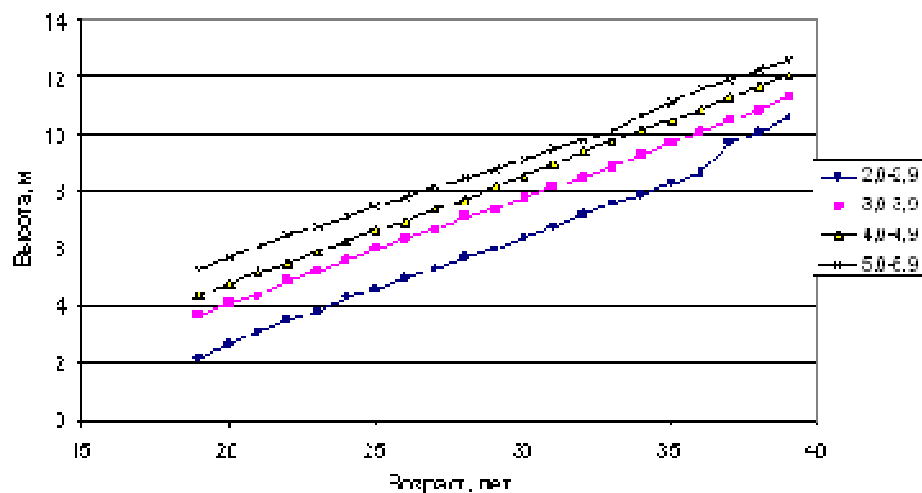


Рис. 1. Ход роста модельных деревьев в зависимости от высоты их в 19-летнем возрасте

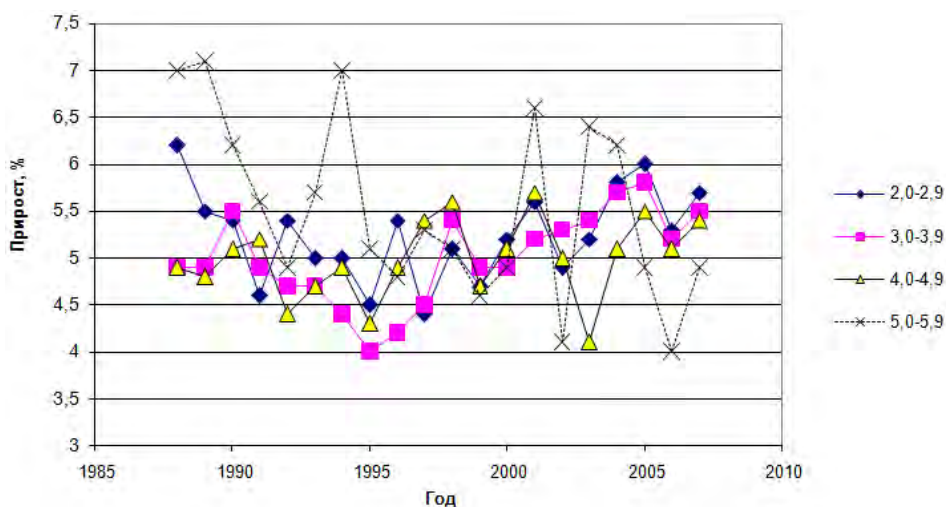


Рис. 2. Прирост по высоте деревьев разных групп

У модельных деревьев, имевших в 1987 году высоту 3,0–3,9 м, формировавших в 20-летнем возрасте годичный прирост, равный 24–57 см, наблюдалось его снижение к началу изреживания до 12–46 см. Увеличение прироста началось только после 1996 года до 4,5–5,8 %. К 39-летнему возрасту высота растений составила в среднем 11,3 м. Наибольшей высотой отличалось дерево № 10–5, наименьшей – № 9–2, у которого наблюдалось почти ежегодное отставание по приросту на 0,7–2,2 % в сравнении со средним значением. Следует отметить, что в период заложения вегетативных почек в 1998 году сумма эффективных температур была ниже нормы на 247,4°С. В 1996 году сумма эффективных температур на III декаду мая – III декаду июня была ниже средней многолетней на 47,6–72,3 °С, количество осадков в период с первой декады мая по вторую декаду июня выпало меньше в 2,2 раза.

Деревья высотой 4,0–4,9 м формировали в 20-летнем возрасте текущие приросты по 19–58 см (2,8–6,6 %). В последующие годы прирост варьировал в среднем от 4,3 до 5,7 %, достигая минимальных значений в 1995 и 2003 гг. в связи с изменением суммы эффективных температур в третьей декаде мая 1995 года (ниже нормы на 29,6 °С), третьей декаде июня (на 120 °С), меньшим количеством осадков (в третьей декаде мая выпало на 10,8 мм меньше нормы). В 2003 году осадков выпало в I–III декадах мая в 1,6 раза меньше среднемноголетнего значения. К 39-летнему возрасту высота моделей данной группы различалась в 1,2 раза при средней 12,1 м. Наиболее интенсивным ростом отличалось дерево № 5–3, у которого прирост составлял до 5,7 %.

Деревья, имевшие в 19-летнем возрасте высоту 5,0–5,9 м, отличались более интенсивным линейным ростом в сравнении с другими. Так, в 20-летнем возрасте текущий прирост составил 38,7 см (7,5 %). Затем вследствие заглушения кедра сибирского естественным возобновлением березы и осины прирост снизился до 4,7–6,7 %, особенно у деревьев № 1–4, 5–1, что связано также с поздним началом периода вегетации в 1996 году. В третьей декаде апреля сумма эффективных температур была ниже нормы на 12,8 °С, в первой декаде мая – на 26,8 °С. Замедленное накопление тепла наблюдалось и в июне: на третью декаду июня сумма эффективных температур оказалась на 37,9 °С ниже среднего многолетнего значения. После проведения лесоводственных уходов годичный прирост увеличился до 5,8–6,7 %.

Ход роста в высоту за 20-летний период в исследованном возрастном интервале отображается уравнениями:

$$y_{3,0-3,9} = 0,395x - 3,598 \quad (R^2 = 0,932)$$

$$y_{4,0-4,9} = 0,401x - 3,555 \quad (R^2 = 0,980),$$

где y – высота, м (при первоначальной высоте 3,0–3,9 и 4,0–4,9 м);

x – возраст, лет.

Наибольшее влияние на величину прироста (y) оказали температура воздуха во второй декаде мая (x) и сумма осадков в мае (z). Уравнение регрессии, отражающее эту зависимость, имеет вид

$$y = 33,464 \pm 0,263x \pm 0,039z \quad (R^2=0,810).$$

В.Е. Кулаков [5], изучая особенности роста кедра сибирского в Колыванском лесхозе Новосибирской области, отмечает, что при формировании ПЛСУ годичные приросты кедра сибирского после лесоводственных уходов увеличились в 1,7–2,2 раза.

Выводы. Исследования показали, что рост деревьев кедра сибирского на ПЛСУ зависит от рубок уходов и погодных условий. Ранговое положение деревьев, объединенных в группы, сохранилось. Выделены быстрорастущие и отстающие в росте деревья для последующих приемов изреживания. Формирование ПЛСУ целесообразно начинать до 24-летнего возраста с использованием материалов селекционной оценки деревьев.

Список литературы

1. Ефимов, Ю.П. Проблемы лесной селекции на рубеже третьего тысячелетия / Ю.П. Ефимов // Опыт создания и проблемы развития Единого генетико-селекционного комплекса (ЕГСК) в Сибири. – Новосибирск: Асиновское, 2008. – С. 6–16.
2. Савинов, А.И. Основные задачи лесного хозяйства на современном этапе / А.И. Савинов // Лесное хозяйство. – 2010. – № 1. – С. 2–5.
3. Рябых, В.П. Плодоношение деревьев сосны на ПЛСУ Сомовского лесхоза / В.П. Рябых, О.Н. Беспаленко // Лес. Наука. Молодежь – 2006. – Воронеж: ВГЛТА, 2006. – С. 172–175.
4. Шугуров, А.Г. Перевод лесосеменной базы сосны обыкновенной в Кузнецком лесхозе Пензенской области на генетико-селекционную основу / А.Г. Шугуров // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. – Красноярск: СибГТУ, 2001. – С.121–124.

5. Кулаков, В.Е. Формирование ПЛСУ кедра сибирского на базе естественного подроста с использованием методов селекции / В.Е. Кулаков // Лесное хозяйство. – 2004. – № 5. – С. 29–30.
6. Алексеев, Ю.Б. Формирование ПЛСУ кедра сибирского высокой семенной продуктивности в южно-таежном Приобье / Ю.Б. Алексеев, В.П. Демиденко // Лесное хозяйство. – 1991. – № 4. – С. 41–43.
7. Пинаев, В.В. Проблемы селекции кедра сибирского на юге Томской области / В.В. Пинаев, В.В. Зеленский // Лесное хозяйство. – 1999. – № 6. – С. 29–30.
8. Смолоногов, Е.П. Эколого-лесоводственные основы организации и ведения лесного хозяйства в кедровых лесах Урала и Западно-Сибирской равнины / Е.П. Смолоногов, С.В. Залесов. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2002. – 186 с.

Статья поступила в редакцию 14.05.10.

R.N. Matveeva, O.F. Butorova, N.M. Ufimtseva

SIBERIAN CEDAR GROWTH AT THE PERMANENT SEED PLANTATION, FORMING IN FOREST CULTURES

*Siberian cedar (*Pinus sibirica*) permanent seed plantation in the forest cultures is being created in a Krasnoyarsk forestry (Krasnoyarsk region). The forest cultures were established in 1969. Formation headings were held in 1993-2005. Due to the modeling trees, growth dynamics for last 20 years is studied. Weather conditions are taken into account.*

Key words: *permanent seed plantation, Siberian cedar, formation, growth dynamics.*

МАТВЕЕВА Римма Никитична – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой селекции и озеленения Сибирского государственного технического университета. Область научных интересов – селекция, генетика, лесные культуры. Автор 415 публикаций.

E-mail: selekcia@sibstu.kts.ru

БУТОРОВА Ольга Федоровна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры селекции и озеленения Сибирского государственного технического университета. Область научных интересов – селекция, генетика, лесные культуры. Автор 320 публикаций.

E-mail: selekcia@sibstu.kts.ru

УФИМЦЕВА Нина Мечиславовна – аспирант кафедры селекции и озеленения Сибирского государственного технического университета. Область научных интересов – селекция, семеноводство, лесные культуры. Автор шести публикаций.

E-mail: selekcia@sibstu.kts.ru

УДК 630*228.7

С. А. Денисов, Ю. П. Глушкова

ОСОБЕННОСТИ РОСТА ПЛАНТАЦИОННЫХ КУЛЬТУР ЕЛИ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ БАЛАНСОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ В СВЯЗИ С ЛЕСОВОДСТВЕННЫМИ УХОДАМИ

Подведены итоги эксперимента по целевому выращиванию балансовой древесины ели при разной густоте, получающейся в результате лесоводственных уходов в молодняках. Вскрыты особенности влияния густоты древостоя и интенсивности лесоводственных уходов на особенности роста плантационных культур ели и динамику их основных таксационных показателей.

Ключевые слова: ель, плантационные культуры, балансовая древесина, густота, изреживание, запас древесины.

Введение. Индустриальное выращивание качественной древесины целевого назначения, в особенности для деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности, сегодня стало актуальной задачей и для России [1].

Длительная эксплуатация лесов естественного происхождения без системного лесоводственно-экологического ведения хозяйства в значительной степени снижает их устойчивость и продуктивность. Сохранение биоразнообразия с одновременным использованием сырьевых ресурсов лесов возможно разными путями, но наиболее перспективным из них в настоящее время для нашей страны представляется переход на плантационное лесоводство – концентрацию промышленного целевого выращивания древесины на выделенных для этого землях с организацией всей сопутствующей инфраструктуры [1–3]. Особенно актуальна эта проблема в смешанных хвойно-широколиственных лесах европейской части России, где использование природного потенциала при выращивании хвойных лесов составляет менее 50 % [4].

Одной из продуктивных местных древесных пород подзоны хвойно-широколиственных лесов является ель обыкновенная, успешно используемая в качестве сырья для производства целлюлозы. Целевые плантации ели могут обеспечить существующие объемы потребления еловых балансов на достаточно ограниченных территориях с коротким оборотом рубки [4]. Плантационное лесоводство может быть успешным для бизнеса только при базировании такого производства на современных, научно обоснованных технологиях, что может обеспечить получение максимального количества древесины с заданными свойствами [1].

Одним из путей увеличения на лесосырьевых плантациях запасов древесины и повышения ее качества является использование рациональных режимов лесоводственных уходов за лесом [1–5]. Проведение рубок ухода в молодняках требует значительных затрат, которые чаще всего не окупаются из-за отсутствия рынка сбыта, поэтому важным моментом является выявление интенсивности рубок ухода для достижения максимального выхода балансовой древесины.

Цель работы – установить эффективный режим лесоводственных уходов при выращивании еловых балансов на лесосырьевых плантациях для целлюлозно-бумажной промышленности.

Объекты и техника эксперимента. Объектом исследования являлся стационарный опытный участок лесных культур, созданный на территории Республики Марий Эл в 1968 году в кв. 11 Пектубаевского лесного участка Новоторъяльского участкового лесничества. Густота посадки – 9,8 тыс.шт./га, посадка рядовая. Среднее расстояние между рядами – 1,7 м, шаг посадки – 0,6 м. Направление рядов северо-восточное.

В 1985 году здесь под руководством В.И. Пчелина и Е.И. Патрикеева с участием А.В. Поповой, И.А. Алексеева, Н.Д. Васильева проведены линейные рубки ухода в шести вариантах [6]. В каждом из вариантов была применена своя схема рубок ухода:

1 вариант – с вырубкой одного ряда через один ряд (1х1, интенсивность выборки 50 %);

2 вариант – рубка двух смежных рядов через один ряд (2х1, выборка 67 %);

3 вариант – контроль;

4 вариант – рубка двух смежных рядов через два ряда (2х2, выборка 50 %);

5 вариант – равномерное изреживание (выборка 50 %);

6 вариант – рубка трех смежных рядов через один ряд (3х1, выборка 75 %).

Все варианты представлены трехкратной повторностью, каждая из которых имеет площадь 0,28 – 0,31 га.

На стационарном опытном объекте выполнены: пересчет по диаметру и картирование 18000 деревьев ели, измерена высота 190 учетных деревьев, взято 22 модельных дерева для изучения хода роста ели в связи с проведенными рубками различной интенсивности.

Для анализа хода роста стволов модельных деревьев пользовались программой полного анализа хода роста древесного ствола [6] для персонального компьютера.

Математическая обработка собранных материалов проводилась в Excel. Устанавливались основные статистические параметры таксационных показателей, распределение стволов по ступеням диаметра с вычислением асимметрии и эксцесса, коэффициентов корреляции густоты древостоев с их таксационными показателями.

Интерпретация результатов исследования. Средний диаметр древостоев во всех вариантах колеблется от 15,3 на контроле до 18,4 см в варианте с интенсивностью рубки 75 % (вариант 6). В остальных вариантах средний диаметр ели колеблется в очень узких пределах – от 16,4 до 16,6 см (табл. 1).

Естественное развитие древостоя в контрольном варианте из-за большой первоначальной густоты посадки (9,8 тыс./га) и отсутствия рубок ухода обусловило напряженную конкуренцию, которая не способствует интенсивному приросту стволов по диаметру.

Показатели асимметрии свидетельствуют о том, что распределение стволов по ступеням толщины во всех вариантах с проведением рубок ухода приближено к нормальному. Во всех вариантах, кроме контроля, наблюдается смещение кривых в сторону больших диаметров. В варианте «контроль», в отсутствие рубок ухода, кривая распределения несколько смещена влево, в сторону тонких ступеней толщины. Таким образом, как линейные рубки ухода, так и рубки с равномерным изреживанием способствуют формированию древостоев с более толстыми стволами (рис. 1, 2).

Минимальные ступени толщины 2 см имеют лишь два варианта – 1 «1х1» и 3 – «контроль». Максимальные диаметры деревьев здесь составляют: 30 в первом и 34 см в контроле. Необходимо заметить, что 34-й ступени деревья достигают, кроме того в вариантах с интенсивным изреживанием: вариант 2 «2х1» и 6 «3х1».

Рубки ухода, проведенные путем вырубки отдельных рядов культур, а также при равномерном изреживании древостоя (вариант 5) существенно повысили средний диа-

метр стволов в сравнении с контролем – коэффициенты Стьюдента (табл. 2) подтверждают это для всех вариантов проведения рубок. Также следует отметить, что очень интенсивное изреживание – 75 % путем вырубki трех смежных рядов и оставлением каждого четвертого ряда (вариант б), достоверно обеспечили наиболее существенный прирост деревьев по диаметру.

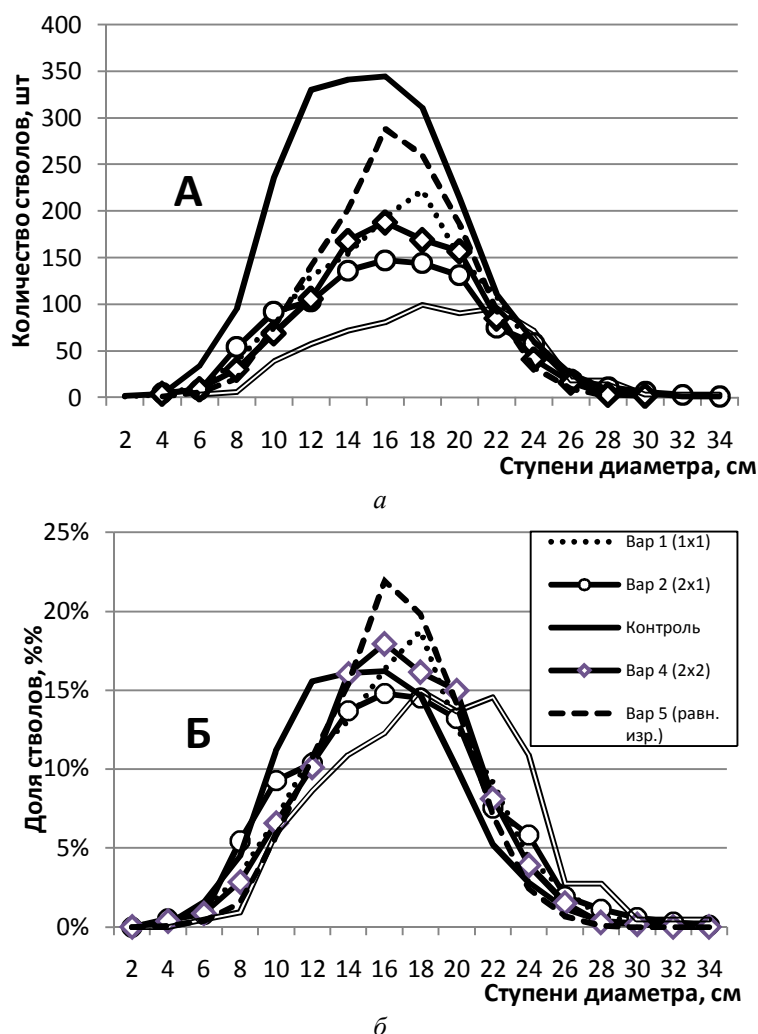


Рис 1. Распределение стволов ели в опытных вариантах ухода за лесом:
а) по числу стволов, б) по доле стволов (%)

Т а б л и ц а 1

Показатели асимметрии и эксцесса диаметров стволов по вариантам и повторностям опыта

Варианты	Статистические показатели								
	Густота, шт/га	Dcp	md	δ	V, %	p, %	t	As	E
6 (3x1)	850	18,4	0,33	4,953	27,0	1,8%	55,0	0,1057	-0,2398
4 (2x2)	1276	16,5	0,13	4,297	26,1	0,8%	123,9	-0,0402	-0,1491
2 (2x1)	1303	16,4	0,16	5,034	30,7	1,0%	102,6	0,2090	-0,1637
1 (1x1)	1434	16,6	0,13	4,558	27,4	0,8%	125,3	0,0031	-0,1668
5 (равном. изреж.)	1612	16,4	0,10	3,695	22,5	0,6%	161,0	-0,0729	-0,1671
3 (контроль)	2627	15,3	0,10	4,460	29,2	0,6%	157,8	0,2920	0,0239

Т а б л и ц а 2

Матрица критериев различия (по Стьюденту) средних диаметров ели по вариантам опыта

Варианты	Критерии различия по Стьюденту между вариантами					
	1 – «1х1»	2 – «2х1»	3 – «контроль»	4 – «2х2»	5 – «равн. изреж»	6 – «3х1»
1 – «1х1»	16,6±0,13*	1,05	8,08	0,95	1,19	4,90
2 – «2х1»	1,05	16,4±0,16*	5,94	0,30	0,10	5,35
3 – «кон-троль»	8,08	5,94	15,3±0,09*	7,13	8,02	8,88
4 – «2х2»	0,95	0,30	7,13	16,4±0,13*	0,26	5,34
5 – «равн. изреж»	1,19	0,10	8,02	0,26	16,4±0,10*	5,62
6 – «3х1»	4,90	5,35	8,88	5,34	5,62	18,4±0,33*

Примечание: * – средний диаметр древостоя $X \pm m$, см

Диаметры модельных деревьев через 18 лет после изреживания расположились (рис. 2, а) по убывающему порядку: 6 вариант (густота 850 деревьев на гектар), затем вариант 2 (1303), вариант 1 (1434), вариант 4 (1276), вариант 5 (1612), контроль (2627). В целом подтверждается связь формирования диаметра деревьев с густотой древостоя. В то же время, пятилетние изменения индексов диаметра модельных деревьев (рис. 2, б) позволяют оценить, как наиболее перспективное в плане стимулирующего воздействия на прирост по диаметру равномерное изреживание древостоя с интенсивностью 50 % (вариант 5).

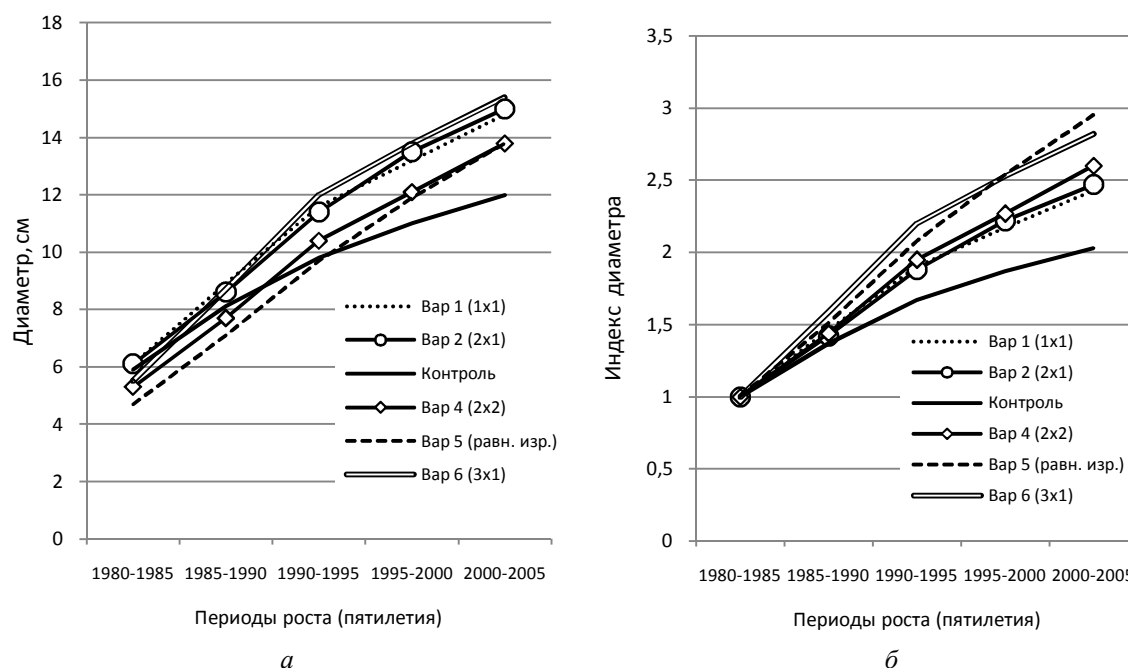


Рис. 2. Изменения диаметров модельных деревьев: а – ход роста по диаметру; б – индексы диаметров (за единицу принят диаметр в пятилетие, предшествующее году изреживания)

После проведенных рубок за последующие 18 лет модельные деревья всех вариантов характеризуются сходным ростом по высоте (рис. 3). Интенсивное изреживание древостоя в шестом варианте (75 %) привело к снижению высоты ели в сравнении с ос-

тальными вариантами. Наибольшей высотой на протяжении всей жизни характеризуется ель в первом варианте при удалении каждого второго ряда (рис. 3, а). Тем не менее, высоты ели в первом и пятом вариантах практически сравнялись. При равномерном изреживании рост ели по высоте стал интенсивнее по сравнению с другими вариантами, что подтверждается показателем индекса высот (рис. 3, б). Он стабильно больше на протяжении всего периода после рубок у ели в пятом варианте с равномерным изреживанием.

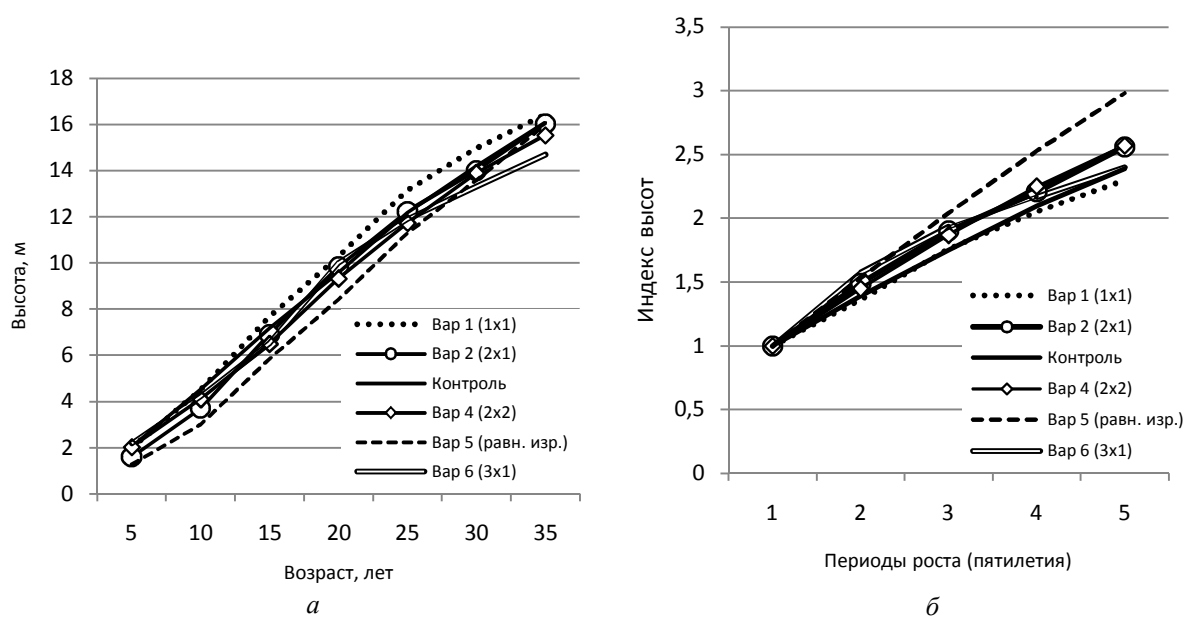


Рис. 3. Динамика высоты стволов модельных деревьев: а – ход роста по высоте; б – индексы высот (за единицу принята высота в пятилетие, предшествующее году изреживания)

Во всех остальных вариантах индексы высот проявляют тенденцию к снижению, которая особенно выражена в шестом варианте.

По высоте модельные деревья вариантов расположились в следующем порядке: 1–2 и 3 (контроль) – 5–4–6. Отметим густоту (тыс. шт./га) этих вариантов: 1 – 1434; 2 – 1303 и 3 (контроль) – 2627; 5 – 1612; 4 – 1276; 6 – 850. Как следует из данного ряда, связи между высотой средних модельных деревьев и густотой древостоев не обнаруживается.

Напряженность конкурентных отношений в древостоях отражается отношением высоты к диаметру ствола (h/d). По этому показателю можно судить об эффективности вариантов изреживаний с точки зрения формирования ствола в условиях конкурентных взаимоотношений (рис. 4).

В контрольном варианте напряженность конкуренции между деревьями продолжала стабильно возрастать. Этот процесс имеет тенденцию к дальнейшему продолжению. В отличие от контроля, после проведенного изреживания во всех остальных вариантах соотношение h/d либо на прежнем уровне с небольшими колебаниями как в ту, так и в другую сторону. Исключение составляет шестой вариант, где рассматриваемый показатель постоянно снижался на протяжении всех последующих пятилетий. К последнему пятилетию он вышел на стабильный уровень по значению меньше единицы. Значительное снижение конкуренции, по нашему мнению, не может расцениваться положительно, поскольку это в конечном итоге ведет к изменению формы ствола и снижению очищаемости его от сучьев. Остальные варианты по изменению коэффициента напряженности роста находятся в близких значениях и в целом изменяются согласованно

между собой, что является признаком влияния внешних факторов, скорее всего не связанных с конкурентными взаимоотношениями в древостое.

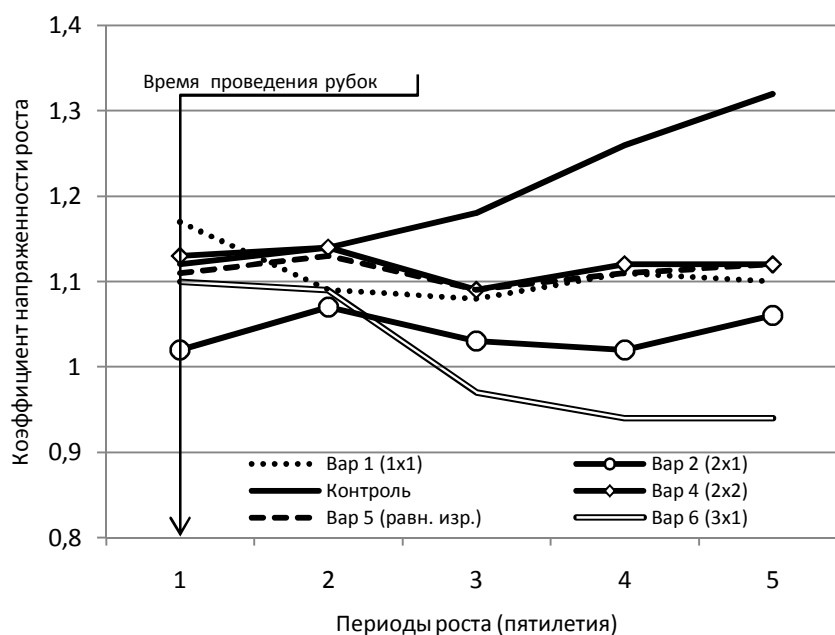


Рис. 4. Динамика коэффициента напряженности роста (h/d) стволов модельных деревьев после рубок ухода

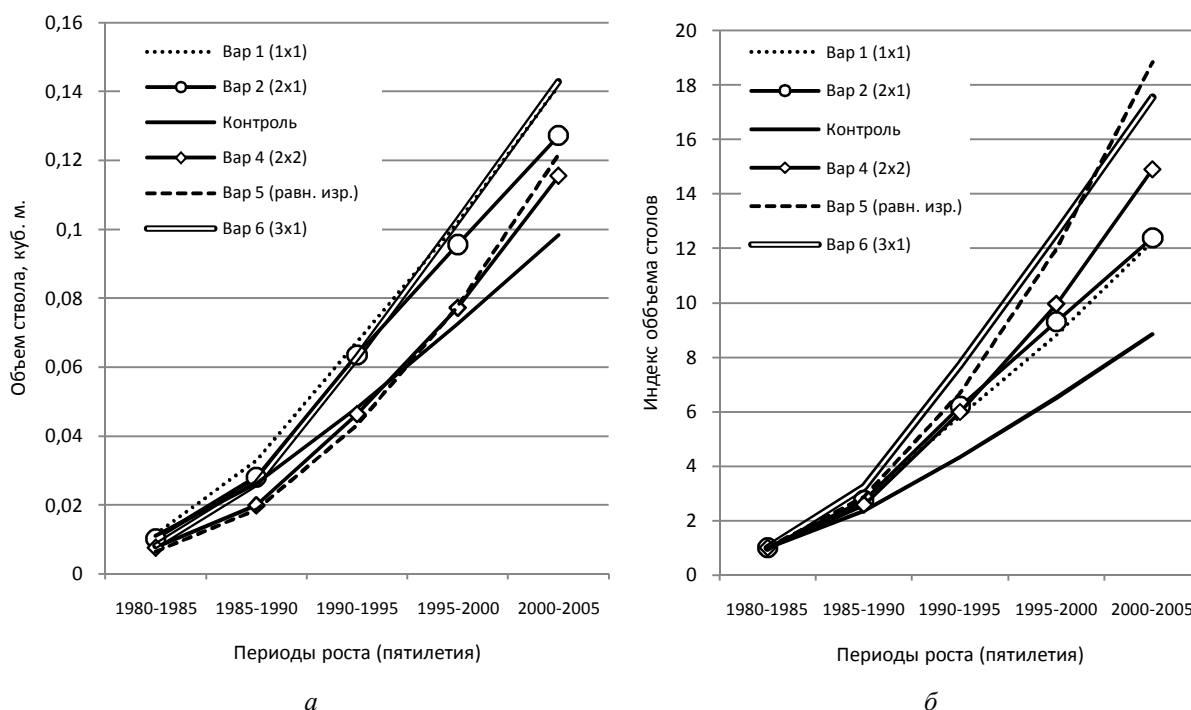


Рис. 5. Изменение объемов стволов модельных деревьев: а – ход роста по высоте; б – индексы высот (за единицу принята высота в пятилетие, предшествующее году изреживания)

Динамика объемов модельных деревьев является интегральным показателем, характеризующим формирование запаса древостоя под влиянием интенсивности рубок

ухода. Как и следовало ожидать, наибольшим объемом среднего дерева (рис. 5, а) характеризуется шестой вариант с очень сильным изреживанием. Следом за ним второй вариант с вырубкой двух рядов через ряд. Затем вариант с равномерным изреживанием и четвертый вариант с вырубкой двух рядов через два ряда. Замыкает ряд контрольный вариант.

Увеличение объема модельных деревьев после проведения рубок относительно первоначального объема до рубок отражает индекс объема стволов (рис. 5, б). Здесь преимущества по нарастанию объема ствола имеют шестой и пятый варианты, которые выходят в лидеры по скорости увеличения объема ствола. Контрольный вариант значительно отстает по этому показателю от всех вариантов изреживания. Первый, второй и четвертый варианты близки между собой.

В итоговой табл. 3 приведены сводные таксационные показатели еловых древостоев по вариантам изреживания. В таблице порядок вариантов дан по мере увеличения густоты древостоев.

Т а б л и ц а 3

Таксационные показатели древостоев ельника по вариантам изреживания и их корреляция с густотой древостоя

Варианты	Густота, шт/га	d ср, см	h ср, м	P абс, м ² /га	V ср. дер., м ³	M, м ³ /га	Объем балансовой древесины, м ³
B6 (3x1)	850	18,4	16,8	23,08	0,2268	149	108
B4 (2x2)	1276	16,5	16,5	26,47	0,1724	221	159
B2 (2x1)	1303	16,4	17,0	26,01	0,1741	228	173
B1 (1x1)	1434	16,6	17,9	29,27	0,1963	268	202
B5 (равном. изр.)	1612	16,4	16,7	34,04	0,1721	277	206
B3 Контроль	2627	15,3	17,4	40,75	0,1302	340	252
R густоты с таксационными показателями	1	-0,86	0,38	0,96	-0,89	0,94	0,92

Подтверждается [8], что густота древостоев очень тесно коррелирует с большинством (кроме средней высоты древостоя) приведенных в таблице таксационных показателей. Так, первоначальная густота лесных культур на опытных объектах в 9,5 тыс. шт./га обеспечила к 40-летнему возрасту в отсутствие рубок ухода запас древесины 340 м³ с выходом 252 м³ балансов (соответственно за два оборота рубки – 40x2=80 лет – 680 и 500 м³).

Заключение. При выращивании мелких деловых сортиментов ели в условиях плантационных культур основным фактором, обеспечивающим их большой выход, является густота древостоя. В этом случае можно отказаться от проведения прочисток.

Следует иметь в виду, что созданные плантационные культуры на бывших сельскохозяйственных землях подвергаются воздействию корневой губки, которая к 40-летнему возрасту может полностью разрушить древостой ели, поэтому здесь можно рекомендовать создание лесных культур с первоначальной густотой около 9 тыс. шт./га для выращивания балансов до возраста 35–40 лет. При этом отпадает необходимость проводить рубки ухода до момента получения первой мелкой коммерческой древесины.

В случае выращивания средних и крупных сортиментов на лесных землях, фактор густоты и его отрицательное влияние на средний диаметр древостоя и объем ствола среднего дерева должен быть устранен. Этого можно достичь удалением в 25–35-летнем возрасте древостоя тонкомерной части с реализацией её как балансовой древесины.

Равномерное изреживание является более эффективным воздействием на формирование запаса древесины по сравнению с линейным уходом, хотя последний более технологичен в его осуществлении. Интенсивность линейных уходов не должна быть более 50 %. При этом проводится вырубка каждого второго ряда ели, что дает возможность получить еловый баланс. Необходимо заметить, что, проводя несколько приемов линейных рубок ухода, можно обеспечить формирование предварительной генерации ели со значительной густотой за счет естественного возобновления её на площади вырубленных рядов и тем самым сократить срок выращивания древесины. При этом будет формироваться разновысотная структура древесного полога из старшего и младшего поколений, обеспечивающая минимальное проникновение под полог нежелательной растительности.

Список литературы

1. Плантационное лесоводство / Под общ. ред. И В. Шутова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – 366 с.
2. Пчелин, В.И. Выращивание высококачественной древесины целевого назначения / В.И. Пчелин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. – 220 с.
3. Алексеев, В.А. Трансформация биосферы и лесообразование на территории России / В.А. Алексеев // Эколого-географические аспекты лесообразовательного процесса: Материалы Всероссийской конференции с участием иностранных ученых. Красноярск. 23–25 сентября 2009 г. – Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2009. – С. 8–11.
4. Денисов, С.А. Возможность и перспективы плантационного выращивания ели в Республике Марий Эл / С. А. Денисов, Ю. П. Глушкова, Л. Е. Туева // Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2008. – №2. – С. 28–39.
5. Селиванов, В.А. Выращивание в Сергиево-Посадском опытном лесхозе целевых насаждений ели из подроста для получения пиловочника и балансов / В.А. Селиванов // Лесной вестник. – 2004. – №5. – С.106–108.
6. Пчелин, В.И. Особенности роста, плотности и прочности древесины ели в культурах плантационного типа / В. И. Пчелин, Е. И. Патрикеев // Материалы науч. конф. профессорско-преподавательского состава, докторантов, аспирантов, сотрудников МарГТУ, 27–31 мая 1996 г.; Ч. 2. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1996. – С. 64–66.
7. А.с. № 2000610864 РФ. Полный анализ хода роста древесного ствола / С.В. Баранов, В.Л. Черных (РФ). – № 2000610740; Заявлено 11.07.2000. Зарегистрировано Российским агентством по патентам и товарным знакам (Роспатент) 08.09.2010.
8. Демаков, Ю.П. Рост и изреживание древостоев: биологическая сущность, математические модели, управление / Ю. П. Демаков. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1999. – 261 с.

Статья поступила в редакцию 01.03.11.

S. A. Denisov, Yu. P. Glushkova

SPRUCE PLANTATION GROWTH FEATURES TO GROW PAPER WOOD IN CONNECTION WITH SILVICULTURAL CARE

Experiment results in purposeful growth of spruce wood with different density (got as a result of young growth silvicultural care) are summarized. Influence peculiarities of forest stand density and silvicultural care intensity on the spruce plantation growth peculiarities and main taxation data dynamics are discovered.

Key words: spruce, forest plantation, paper wood, density, cut thinning, stand.

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

E-mail: DenisovSA@marstu.net

ГЛУШКОВА Юлия Павловна – ведущий специалист-эксперт отдела использования и воспроизводства лесов Министерства лесного хозяйства Республики Марий Эл. Область научных интересов – лесоводство, плантационное выращивание леса. Автор пяти публикаций.

E-mail: yulaglushkova@mail.ru

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

УДК 630*375.5

М. Ю. Смирнов, И. Р. Бакулина

АНАЛИЗ ГРАНИЦ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОГРУЗКИ, ВЫВОЗКИ И ВЫГРУЗКИ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ ЗВЕНЬЯМИ АВТОПОЕЗДОВ

Составлен алгоритм функционирования автопоездов в составе звена. Разработана методика расчета продолжительности погрузочно-разгрузочных работ навесным гидроманипулятором. Разработаны методика, алгоритм и программа расчета показателей экономической эффективности эксплуатации лесовозных автопоездов-сортиментовозов в составе звена, определены границы эффективной работы звеньев автопоездов.

Ключевые слова: автопоезд, звено, сортименты, навесной гидроманипулятор, погрузка, вывозка, экономическая эффективность.

Введение. В последние годы произошел значительный рост количества автопоездов с навесными гидроманипуляторами. В зависимости от производственных условий, количественного соотношения транспортных средств и погрузочных механизмов вывозка лесоматериалов на предприятиях лесной отрасли осуществляется в настоящее время по двум основным организационным формам работы: индивидуальной и звеньевой. Основной задачей при разработке проектов организации вывозки лесоматериалов является обоснование оптимального соотношения количества лесовозных автопоездов и навесных гидроманипуляторов в погрузочно-транспортном звене. Для решения данной проблемы разработана экономико-математическая модель оптимизации погрузочно-транспортного звена и создана компьютерная программа, реализующая эту модель.

Цель работы: определить границы экономически эффективного применения автопоездов с навесными гидроманипуляторами в составе погрузочно-транспортного звена.

Решаемые задачи:

- разработка методики определения границ эффективного применения погрузочно-транспортного звена лесовозных автопоездов;
- реализация методики и алгоритма в виде программы в среде Delphi.

Для решения задач были составлены алгоритмы функционирования автопоездов с гидроманипуляторами в составе звена и математическая модель их работы, разработана

методика расчета продолжительности погрузочно-разгрузочных работ [1], на которые получены свидетельства о регистрации разработок в отраслевом фонде алгоритмов и программ [2, 3].

Обоснование оптимального соотношения количества лесовозных автопоездов и навесных гидроманипуляторов в погрузочно-транспортном звене сводится к отысканию таких значений исследуемых параметров, которые обеспечивают минимум критерия оптимизации. В качестве критерия оптимизации при решении данной задачи приняты удельные эксплуатационные затраты.

При расчете удельных эксплуатационных затрат определяются: основная и дополнительная заработная плата производственных рабочих; отчисления на социальные нужды; расходы на содержание и эксплуатацию техники (заработная плата вспомогательных рабочих и обслуживающего персонала; отчисления на социальные нужды; амортизационные отчисления; затраты на текущий ремонт; затраты на топливо и смазочные материалы; прочие производственные расходы).

Программа расчета показателей экономической эффективности эксплуатации автопоездов-сортиментовозов предназначена для: автоматизации расчётов по выбору возможных вариантов соотношения автопоездов с гидроманипулятором и автопоездов, не оснащенных навесными гидроманипуляторами, в заданных природно-производственных условиях; оптимизации числа лесовозных автопоездов в погрузочно-транспортном звене; определения производительности и простоев звена лесовозных автопоездов; границ эффективного применения звеньев автопоездов.

Разработанная программа позволяет: вычислить предельное число автопоездов без гидроманипулятора, которые в течение смены будут обслуживаться одним автопоездом с гидроманипулятором; производить поиск возможных вариантов комплектования погрузочно-транспортного звена по заданным исходным данным о параметрах сортиментов и подвижном составе; определять продолжительность пребывания автопоездов в пунктах погрузки и выгрузки лесоматериалов и производительность погрузочно-транспортного звена; вычислять себестоимость вывозки 1 м³ лесоматериалов.

На первом этапе производится формирование возможных вариантов комплектования погрузочно-транспортного звена.

Формирование вариантов комплектования погрузочно-транспортного звена начинается с определения предельного числа автопоездов без погрузочного механизма, которые в течение смены могут быть обслужены одним автопоездом с навесным гидроманипулятором [1]. Предельное число обслуживаемых автопоездов для одного автопоезда с гидроманипулятором находится из условия

$$P_{см} \geq (Q_{пол1} + N_2^{max} \cdot Q_{пол2}), \quad (1)$$

где $P_{см}$ – сменная производительность звена автопоездов;

N_2^{max} – предельное число автопоездов без гидроманипулятора в погрузочно-транспортном звене;

$Q_{пол1}$ и $Q_{пол2}$ – рейсовые нагрузки автопоездов с навесным гидроманипулятором и без гидроманипулятора.

В течение рабочей смены все автопоезда звена должны успеть выполнить не менее одного рейса

$$n_p = \frac{(T - t_{нз}) \cdot K_e}{T_p} \geq 1, \quad (2)$$

где T – продолжительность рабочей смены, мин.;

t_{n3} – подготовительно-заключительное время, мин.;

K_8 – коэффициент использования рабочего времени;

T_p – продолжительность рейса, мин.

Продолжительность рейса определяется по выражению

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

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

Суммарное время движения автопоездов в порожнем и грузовом направлениях находится по формуле

$$t_{nop} + t_{ep} = (l_1 \cdot t_1^n + l_2 \cdot t_2^n + l_3 \cdot t_3^n) + (l_1 \cdot t_1^e + l_2 \cdot t_2^e + l_3 \cdot t_3^e) = l_1 \cdot t_1 + l_2 \cdot t_2 + l_3 \cdot t_3, \quad (4)$$

где l_1, l_2, l_3 – расстояния перемещения груза по дорогам различных категорий, км;

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

Общее время простоев подвижного состава на погрузочном и разгрузочном пунктах за один рейс состоит из следующих элементов: подготовительные работы, выполнение погрузочных или 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 [4–7].

При разработке алгоритма функционирования автопоезда с гидроманипулятором в составе погрузочно-транспортного звена учтено, что загрузка лесовозного автопоезда может осуществляться с нескольких рабочих позиций:

$$T_1 = n_{ш} \cdot (t_c + t_{mp} + t_{mt}) + \sum_{i=1}^{N_2} T_{n2_i} + (n_{ш} - 1) \cdot \frac{l_{ш}}{60 \cdot v_{ш}} + (N_2 - 1) \cdot t_{cm} + T_{n1} + t_{yв}, \quad (5)$$

$$T_2 = t'_c + t_{mp} + T_{e1} + (N_2 - 1) \cdot t_{cm} + \sum_{i=1}^{N_2} T_{e2_i} + t_{mt}, \quad (6)$$

где $n_{ш}$ – число штабелей сортиментов, из которых загружается звено автопоездов;

$t_{ш}$ – продолжительность переезда автопоезда между штабелями, мин.;

$l_{ш}$ – расстояние между штабелями, м;

$v_{ш}$ – скорость движения автопоезда между штабелями, м/с;

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_{n1}, T_{n2} – продолжительность загрузки автопоезда с манипулятором и автопоезда без манипулятора соответственно, мин.;

T_{e1}, T_{e2} – продолжительность разгрузки автопоезда с манипулятором и автопоезда без манипулятора соответственно, мин.;

t_{cm} – время на смену автопоездов, мин.;

$t_{yв}$ – продолжительность увязки вoза, мин.

Из неравенства (1) с учётом выражений (3 – 6) получим формулу определения максимально возможного числа автопоездов без гидроманипулятора в составе звена

$$N_2^{\max} \leq \frac{\left((T - t_{nz}) \cdot K_{\varepsilon} - (l_1 \cdot t_1 + l_2 \cdot t_2 + l_3 \cdot t_3 + \right. \\ \left. + n_{\text{ш}} \cdot (t_c + t_{\text{мр}} + t_{\text{мт}}) + (n_{\text{ш}} - 1) \cdot \frac{l_{\text{ш}}}{60 \cdot g_{\text{ш}}}) + \right. \\ \left. + t_{\text{яв}} + t'_c + t_{\text{мр}} + t_{\text{мт}} + T_{n1} + T_{\varepsilon1} - 2 \cdot t_{\text{см}} \right)}{2 \cdot t_{\text{см}} + T_{n2} + T_{\varepsilon2}}. \quad (7)$$

Вычисленное значение $N_2^{\max}$ следует округлить до целого в меньшую сторону.

Соотношение числа автопоездов с гидроманипулятором и без него в звене может варьироваться в пределах $1:0 \leq 1: N_2 \leq 1: N_2^{\max}$. При $N_2 = 0$ все автопоезда оборудованы гидроманипулятором. В варианте 1:1 каждый второй автопоезд оборудован гидроманипулятором. Другие варианты предполагают увеличение числа обслуживаемых автопоездов одним автопоездом с гидроманипулятором до предельного значения $N_2^{\max}$. Другая комбинация автопоездов в звене – 2:1, предусматривает совместную работу двух автопоездов с гидроманипулятором и одного без него.

В зависимости от эксплуатационных условий предельное число $N_2^{\max}$ обслуживаемых автопоездов в звене для одного автопоезда с гидроманипулятором может достигать 10. Работа такого звена нецелесообразна, потому что большую часть рабочего времени автопоезда будут простаивать в ожидании на погрузочном и разгрузочном пунктах. Зная предельное значение $N_2^{\max}$, количество сравниваемых вариантов следует ограничивать, исходя из наличия автопоездов на предприятии, сменного объема работ, допустимого уровня простоев автопоездов.

Общая продолжительность работы лесовозных автопоездов в течение смены складывается из времени пребывания на погрузочно-разгрузочных пунктах и времени движения с грузом и без

$$T_{\text{общ}} = T_{n-в} + T_{\text{пер}}, \quad (8)$$

где $T_{\text{общ}}$ – общее время работы автопоезда в течение смены, мин;

$T_{n-в}$ – продолжительность пребывания автопоезда в пунктах погрузки и выгрузки, мин;

$T_{\text{пер}}$ – время движения автопоезда, мин.

При увеличении числа автопоездов без гидроманипулятора в звене продолжительность простоев в пунктах погрузки-выгрузки и продолжительность рейса будут возрастать. Удельное время движения автопоезда в течение смены уменьшится. Графически это показано на рис. 1.

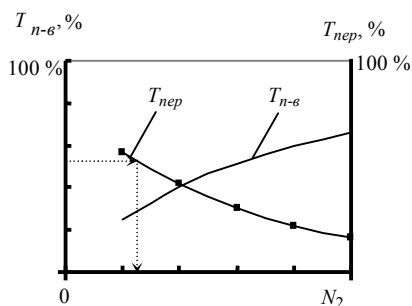


Рис. 1. Зависимость $T_{n-в}$ и $T_{\text{пер}}$ от числа обслуживаемых автопоездов N_2 в звене

Для определения допустимого значения числа обслуживаемых автопоездов в звене следует задаться требуемым уровнем их простоев. Отложив на оси ординат значение уровня простоев, проведем линию параллельно оси абсцисс до пересечения с одноименной кривой, а затем опустим перпендикуляр на ось абсцисс. Полученное значение N_2 определяет предел, после которого нецелесообразно дальнейшее укрупнение звена с точки зрения требуемого уровня простоев.

Количество сравниваемых вариантов дополнительно может быть ограничено сменным объемом работы. Для этого заданный сменный объем работы необходимо приравнять к правой части неравенства (1)

$$Q_{см} = Q_{пол\ 1} + N_2 \cdot Q_{пол\ 2}, \quad (9)$$

где $Q_{см}$ – сменный объем работы, м³.

Из выражения (9) находим предельное число автопоездов для вывозки заданного объема груза

$$N_2 = \frac{Q_{см} - Q_{пол\ 1}}{Q_{пол\ 2}}. \quad (10)$$

По полученному значению $N_2 < N_2^{\max}$ уточняется число сравниваемых вариантов формирования погрузочно-транспортного звена.

Для определения продолжительности погрузочно-разгрузочных работ T_{n1} , T_{n2} , T_{e1} , T_{e2} разработаны методика, алгоритм и программа расчета [3], позволяющие по исходным данным о параметрах сортиментов и подвижном составе осуществлять расчет: продолжительности одного цикла погрузки и выгрузки сортиментов; количества рабочих циклов гидроманипулятора, затрачиваемых на загрузку или разгрузку автопоезда; продолжительность пребывания автопоездов в пунктах погрузки и выгрузки лесоматериалов с учетом времени подготовительно-заключительных операций.

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. Число рабочих циклов гидроманипулятора при формировании пачки груза или разгрузке автопоезда определяется полезной рейсовой нагрузкой автопоезда и числом сортиментов, захватываемых грейфером за один рабочий цикл.

На первом этапе по средним таксационным параметрам сортиментов (диаметру, объему) на основе математического аппарата метода Монте-Карло осуществляется моделирование числа сортиментов, захватываемых грейфером за один цикл погрузки или выгрузки. По смоделированным значениям и исходным данным определяется объем пачки груза, погруженной за рабочий цикл Q_1

$$Q_1 = n_{ci} \cdot V_c, \quad (11)$$

где n_{ci} – количество сортиментов в i -й пачке груза;

V_c – средний объем сортимента, м³.

При решении задачи учитываются ограничения:

- объем захватываемой группы сортиментов не должен превышать грузоподъемность манипулятора при заданном вылете стрелы

$$Q_1 \leq Q_{см}, \quad (12)$$

где $Q_{см}$ – грузоподъемность манипулятора на заданном вылете стрелы, м³;

- объем сформированной пачки груза не должен превышать величину полезной рейсовой нагрузки автопоезда

$$\sum_{i=1}^{n_u} Q_i \leq Q_{пол}. \quad (13)$$

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:

$$t_u = f(n_{ci}, h_u, l_n). \quad (14)$$

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

На стадии вариантного проектирования состава погрузочно-транспортного звена не учитываются затраты на погрузку, вывозку и выгрузку лесоматериалов, поэтому наиболее эффективный вариант из нескольких сравниваемых выбирают по критерию экономической эффективности. В качестве основного экономического критерия рекомендуется принимать удельные эксплуатационные затраты. Целевая функция критерия оптимизации имеет вид

$$C_{уд}^э = \frac{(C_1 \cdot N_1 + C_2 \cdot N_2) \cdot N_{зв}}{Q_{год}} \rightarrow \min, \quad (15)$$

где C_1 , C_2 – эксплуатационные затраты автопоезда с навесным гидроманипулятором и автопоезда без манипулятора, соответственно;

$N_{зв}$ – число погрузочно-транспортных звеньев, необходимых для вывозки заданного объёма лесоматериалов;

$Q_{год}$ – годовой объём вывозки лесоматериалов, м³.

Подробная методика оценки эффективности применения погрузочно-транспортных звеньев автопоездов и исходные данные для их комплектования приведены в монографии [1].

Рассмотрим три случая формирования состава вариантов звеньев автопоездов:

1 – в погрузочно-транспортном звене все автопоезда состоят из автомобиля Урал-4320 с прицепом-ропуском ТМЗ-802;

2 – все автопоезда в звене скомплектованы на базе автомобиля Урал-4320 с прицепом СЗАП-83571;

3 – автопоезда с гидроманипулятором состоят из автомобиля Урал-4320 с прицепом-ропуском ТМЗ-802, автопоезда без гидроманипулятора – из автомобиля Урал-4320 с прицепом СЗАП-83571.

График определения предельного числа обслуживаемых автопоездов в звене с одним автопоездом с гидроманипулятором приведен на рис. 2. Из графика видно, что при формировании погрузочно-транспортного звена из автопоездов Урал-4320 + ТМЗ-802 один автопоезд с гидроманипулятором при среднем расстоянии вывозки 10 км сможет обслужить не более семи автопоездов без гидроманипулятора. Объединение их в одно звено нецелесообразно, поскольку обслуживаемые автопоезда без гидроманипулятора значительное время будут простаивать в ожидании погрузки или разгрузки. Для второго и третьего случаев предельное число автопоездов без гидроманипулятора в составе звена не должно превышать четырёх.

При дальнейшем увеличении расстояния вывозки число автопоездов, обслуживаемых одним автопоездом с гидроманипулятором, уменьшается.

При расстояниях вывозки свыше 80 км возможна только индивидуальная работа автопоездов с гидроманипуляторами.

Для каждого случая определена продолжительность простоев обслуживаемого автопоезда в ожидании погрузки и разгрузки, которые могут возникнуть из-за разницы рейсовых нагрузок автопоездов. Расчёт показал, что наименьшие простои в ожидании обслуживания у автопоезда, не имеющего погрузочного механизма, будут в случае, когда автопоезда с манипулятором сформированы на базе автомобиля Урал-4320 с прицепом-ропуском ТМЗ-802, а автопоезд без гидроманипулятора – на базе автомобиля Урал-4320 с прицепом СЗАП-83571.

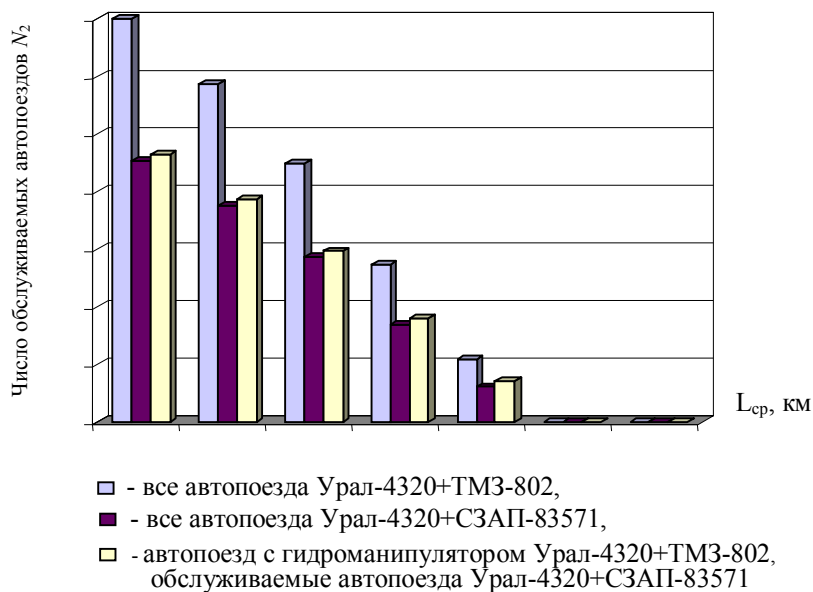


Рис. 2. Предельное число обслуживаемых автопоездов в звене

Таким образом, в качестве сравниваемых приняты варианты:

№1 – гидроманипулятором оснащается каждый автопоезд (Урал-4320+ТМЗ-802+ОМТЛ-70-02 или Урал-4320+СЗАП-83571+ОМТЛ-70-02);

№2 – гидроманипулятором оснащаются два автопоезда из трёх;

№3 – гидроманипулятор устанавливается на каждом втором автопоезде;

№4 – гидроманипулятор устанавливается на каждом третьем автопоезде;

№5 – гидроманипулятор устанавливается на каждом четвёртом автопоезде.

Расчёты выполнены для расстояний вывозки лесоматериалов L_{cp} равных 20, 40 и 60 км. При $L_{cp} = 20$ км сравниваются все пять вариантов, при $L_{cp} = 40$ км и $L_{cp} = 60$ км сравниваются первые четыре варианта.

На рис. 3 приведены графики зависимости сменной производительности сравниваемых вариантов от среднего расстояния вывозки лесоматериалов при формировании погрузочно-транспортного звена из автопоездов Урал-4320 +ТМЗ-802.

Общая производительность звена возрастает с увеличением числа автопоездов в нём (рис. 3, а). В варианте №2 с увеличением расстояния вывозки лесоматериалов производительность уменьшается быстрее, чем в других вариантах. При расстояниях вывозки 10–40 км производительность этого погрузочно-транспортного звена наибольшая. С увеличением расстояния вывозки от 40 до 60 км наибольшая производительность у варианта №5. В варианте №2 работа автопоездов организована с меньшими простоями, что увеличивает производительность на 14,5–45,1 % по сравнению с вариантом №4. Наименьшая производительность в варианте №1, когда все автопоезда имеют навесные гидроманипуляторы.

При сравнении средневзвешенной производительности автопоездов в звене (рис. 3, б) картина меняется. Наибольшая производительность достигается у варианта №1 работы автопоездов, так как затраты времени на погрузочно-разгрузочные операции при этом наименьшие. За ним следует вариант №2. В варианте №2 рассматривается наиболее оптимальный способ работы автопоездов: один автопоезд с манипулятором производит погрузку, а другой – разгрузку автопоезда без погрузочного средства. Средневзвешенная производительность автопоездов этого варианта, по сравнению с вариантом №1, снижается на 3,3–14,0 % в зависимости от расстояния вывозки.

За ними следуют третий – пятый варианты работы, у которых средневзвешенная производительность существенно снижается. Так, у варианта №5 работы автопоездов производительность в среднем составляет 48,9–77,1 % от производительности варианта №1 в зависимости от среднего расстояния вывозки.

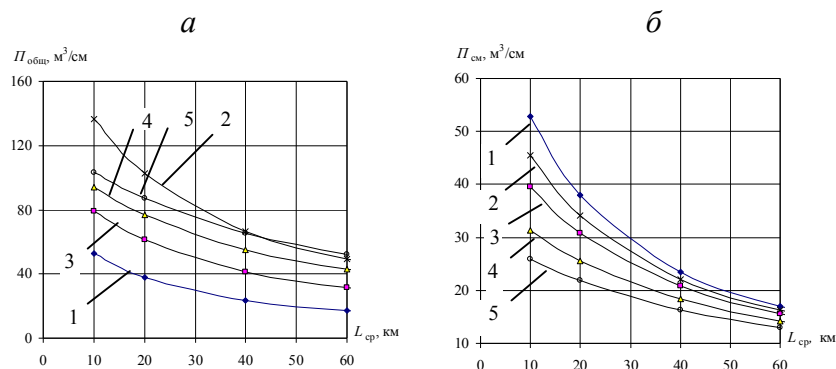


Рис. 3. Сменная производительность погрузочно-транспортного звена автопоездов Урал-4320 + ТМЗ-802:
а – общая, б – средневзвешенная; 1, 2, 3, 4, 5 – сравниваемые варианты

Таким образом, с уменьшением доли автопоездов с навесными погрузочными устройствами средневзвешенная производительность лесотранспортных средств снижается. Изменение прицепного состава лесовозных автопоездов и, как следствие, их рейсовых нагрузок оказывает влияние на производительность погрузочно-транспортных звеньев.

Общая производительность звеньев, сформированных из автопоездов Урал-4320 + СЗАП-83571, выше, чем у звеньев, состоящих из автопоездов Урал-4320 + ТМЗ-802, на 11,0–29,1 % в зависимости от расстояния вывозки. Это объясняется увеличением рейсовых нагрузок автопоездов, входящих в состав звена. В случае, когда изменяется только состав автопоездов, не оснащённых навесными гидроманипуляторами, общая производительность звеньев увеличивается на 9,5–24,1 %.

У звеньев, сформированных из автопоездов Урал-4320+СЗАП-83571, наибольшая средневзвешенная производительность при расстояниях вывозки от 10 до 45 км наблюдается в варианте №1. При расстояниях 45–60 км наибольший показатель у варианта №2.

Если автопоезда с гидроманипулятором в звене – автомобиль + прицеп-ропуск, а обслуживаемые – автомобиль + прицеп, наибольшее значение общей производительности при расстояниях вывозки от 10 до 35 км у варианта №2, при расстояниях вывозки 35–60 км – у варианта №5. Вариант №1 работы данного звена наиболее производителен при расстояниях вывозки 10–20 км, при дальнейшем увеличении расстояния вывозки он уступает вариантам №2–4.

Необходимое количество лесовозных автопоездов зависит от годового объема вывозки лесоматериалов, расстояния вывозки (на рис. 4 показано на примере погрузочно-транспортных звеньев, сформированных из автопоездов Урал-4320 + ТМЗ-802).

При расстоянии вывозки сортиментов 20 км в варианте №3 при одинаковом числе требуемых лесовозных автопоездов Урал-4320 + ТМЗ-802 удельные инвестиции ниже, чем в варианте №1 за счёт сокращения погрузочных механизмов.

При расстоянии вывозки 40 км удельный объем инвестиций в варианты №2–4 выше, чем в вариант №1. Это связано с увеличением требуемого количества лесовозных автопоездов. Например, по варианту №3 одно звено, состоящее из двух автопоездов, с

заданным объемом работ уже не справляется и при дальнейшем увеличении расстояния вывозки сортиментов требуется привлечение второго погрузочно-транспортного звена, что значительно увеличивает требуемое количество инвестиций.

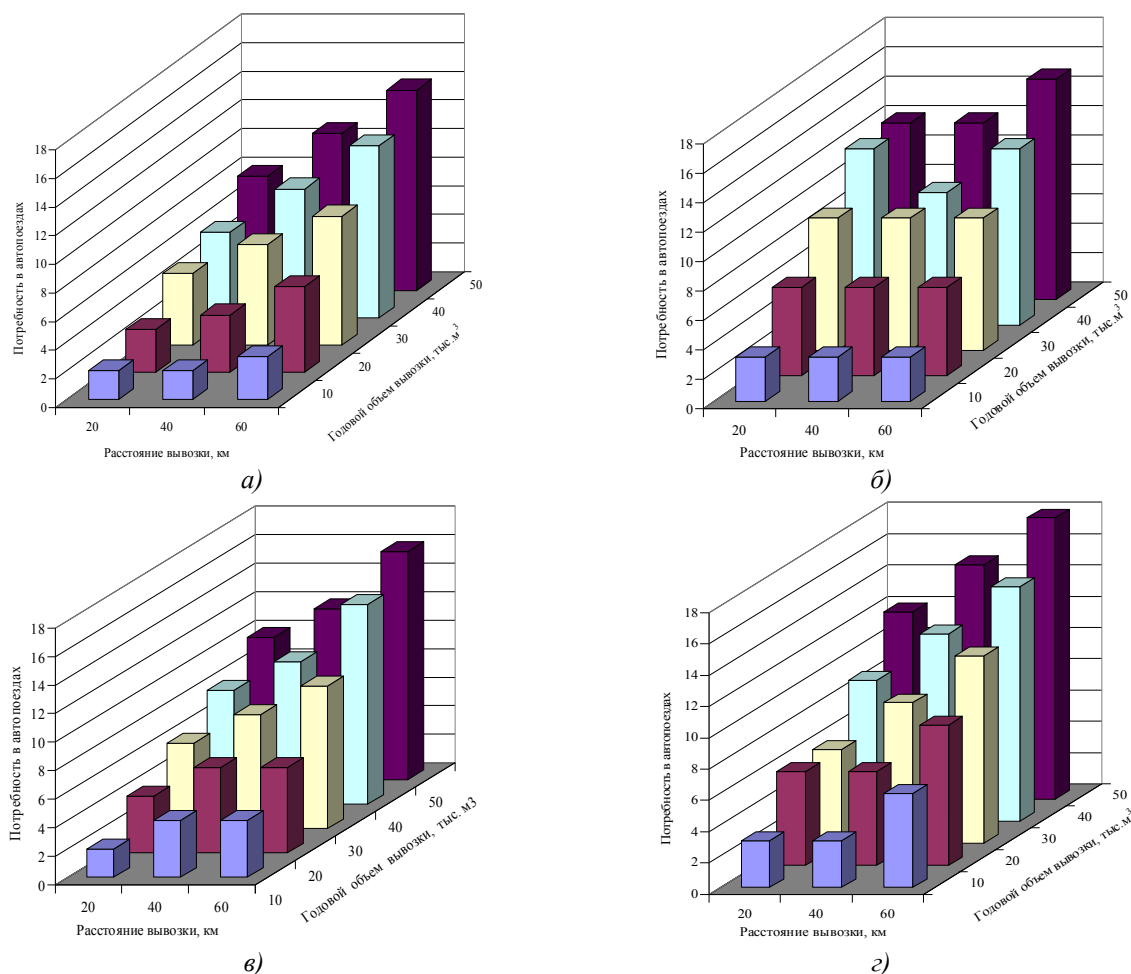


Рис. 4. Требуемое количество лесовозных автопоездов:

а – вариант №1; б – вариант №2; в – вариант №3; г – вариант №4

Аналогично, при расстоянии 60 км рост инвестиций для варианта №4 связан с привлечением второго погрузочно-транспортного звена.

С увеличением расстояния вывозки до 60 км наименьшие удельные инвестиции имеет вариант №2.

Изменение прицепного состава всех или только обслуживаемых автопоездов, входящих в состав звена, также влияет на объем инвестиций.

В табл. (с. 48) приведены удельные инвестиции в погрузочно-транспортные звенья при сравниваемых вариантах их комплектования и годовом объеме вывозки 10 тыс.м³.

Для случаев, когда все или часть автопоездов в погрузочно-транспортном звене – Урал-4320 + СЗАП-83571, при расстояниях вывозки 20–40 км наименьшие инвестиции требуются для варианта №3.

При одинаковом числе требуемых автопоездов в вариантах №1 и 3 снижение капитальных вложений происходит за счёт сокращения доли автопоездов с гидроманипулятором в звене. При расстоянии вывозки 60 км меньших капитальных вложений требует вариант №4. С увеличением объема вывозки лесоматериалов требуемый объем инвестиций значительно возрастает.

Результаты расчётов удельных эксплуатационных затрат на погрузку, вывозку и выгрузку сортиментов по сравниваемым вариантам погрузочно-транспортных звеньев в зависимости от годового объёма вывозки лесоматериалов при расстояниях вывозки 20, 40 и 60 км представлены на графиках рис. 5.

Удельный объем инвестиций в погрузочно-транспортные звенья

Среднее расстояние вывозки, км	Сравниваемые варианты				
	№1	№2	№3	№4	№5
1. Автопоезда Урал-4320 + ТМЗ-802					
20	$\frac{2}{304,90}$	$\frac{3}{408,57}$	$\frac{2}{256,12}$	$\frac{3}{359,79}$	$\frac{4}{465,22}$
40	$\frac{2}{304,90}$	$\frac{3}{408,57}$	$\frac{4}{512,23}$	$\frac{3}{359,79}$	—
60	$\frac{3}{457,35}$	$\frac{3}{408,57}$	$\frac{4}{512,23}$	$\frac{6}{719,57}$	—
2. Автопоезда Урал-4320 + СЗАП-83571					
20	$\frac{2}{319,74}$	$\frac{3}{430,83}$	$\frac{2}{270,96}$	$\frac{3}{382,05}$	$\frac{4}{495,90}$
40	$\frac{2}{319,74}$	$\frac{3}{430,83}$	$\frac{2}{270,96}$	$\frac{3}{382,05}$	—
60	$\frac{3}{479,61}$	$\frac{3}{430,83}$	$\frac{4}{541,91}$	$\frac{3}{382,05}$	—
3. Автопоезд с гидроманипулятором Урал-4320 + ТМЗ-802 + ОМТЛ-70-02, автопоезда без гидроманипулятора Урал-4320 + СЗАП-83571					
20	$\frac{2}{304,90}$	$\frac{3}{422,35}$	$\frac{2}{266,72}$	$\frac{3}{377,81}$	$\frac{4}{482,45}$
40	$\frac{3}{457,35}$	$\frac{3}{422,35}$	$\frac{2}{266,72}$	$\frac{3}{377,81}$	—
60	$\frac{3}{457,35}$	$\frac{3}{422,35}$	$\frac{4}{533,44}$	$\frac{3}{377,81}$	—

Примечание: в числителе показано требуемое число автопоездов для вывозки заданного объёма сортиментов, в знаменателе – удельный объем инвестиций, р/м³.

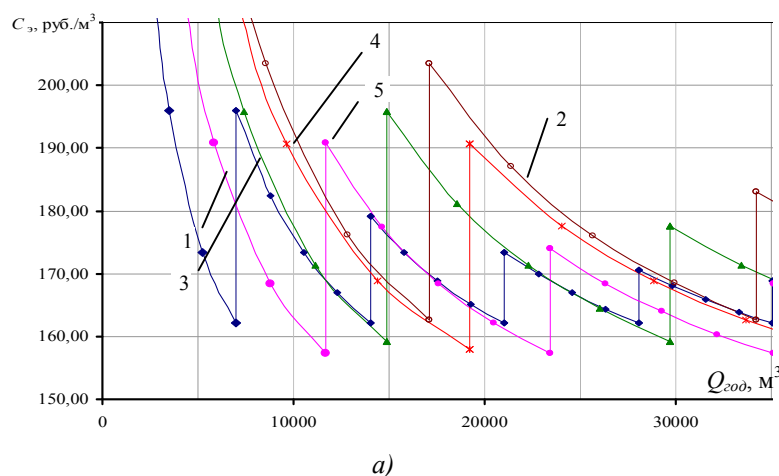
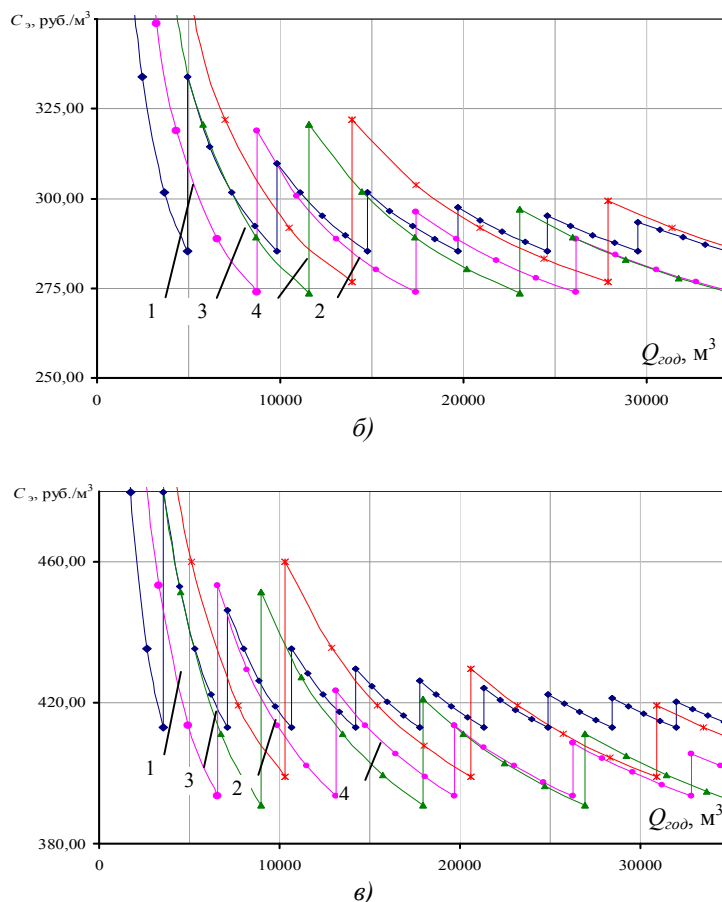


Рис. 5. Изменение эксплуатационных затрат на погрузку, вывозку и выгрузку 1 м³ сортиментов погрузочно-транспортным звеном автопоездов Урал-4320+ТМЗ-802: а – $L_{ср} = 20$ км; б – $L_{ср} = 40$ км; в – $L_{ср} = 60$ км; 1, 2, 3, 4, 5 – сравниваемые варианты



Окончание рис. 5. Изменение эксплуатационных затрат на погрузку, вывозку и выгрузку 1 м³ сортиментов погрузочно-транспортным звеном автопоездов Урал-4320+ТМЗ-802:
а – $L_{ср} = 20$ км; б – $L_{ср} = 40$ км; в – $L_{ср} = 60$ км; 1, 2, 3, 4, 5 – сравниваемые варианты

Скачкообразный рост кривых объясняется наличием предельных объёмов вывозки лесоматериалов звеном автопоездов. Например, при $L_{ср} = 20$ км (рис. 5, а) для варианта №1 с увеличением объёма вывозки свыше 7,0 тыс. м³ один автопоезд не справляется, необходимо применение второго автопоезда, что резко увеличивает эксплуатационные затраты.

Индивидуальная форма организации работы автопоездов с гидроманипулятором (вариант №1) для $L_{ср} = 20$ км эффективна при $Q_{год}$ не более 7 тыс. м³. При объёмах вывозки лесоматериалов 7–12 тыс. м³ меньшие эксплуатационные затраты у варианта №3, свыше 12 тыс. м³ – у вариантов №2, 4 и 5.

Изменения природно-производственных условий (состава автопоезда, расстояния вывозки и др.) приведут к смещению кривых и к изменению областей эффективной эксплуатации автопоездов с гидроманипулятором в составе звена.

Увеличение расстояния вывозки до 40 и 60 км приводит к уменьшению объёма вывозки сортиментов, выполняемого одним автопоездом с гидроманипулятором (вариант №1) или погрузочно-транспортным звеном.

При $L_{ср} = 40$ км вариант №1 имеет меньшие эксплуатационные затраты при $Q_{год}$ до 5 тыс. м³, при $L_{ср} = 60$ км индивидуальная работа автопоездов с гидроманипулятором эффективна для $Q_{год}$ до 3 тыс. м³. При больших объёмах вывозки сортиментов меньшие эксплуатационные затраты у вариантов №2–5.

У погрузочно-транспортных звеньев, сформированных из автопоездов Урал-4320+СЗАП-83571 вариант №1 также имеет меньшие удельные эксплуатационные затраты при небольших объемах вывозки сортиментов $Q_{год}$ от 2,5 до 7,5 тыс. м³ в зависимости от расстояния вывозки.

Выводы.

1. При малых годовых объемах вывозки сортиментов (до 7,0 тыс. м³) экономически эффективна индивидуальная работа автопоездов с гидроманипулятором.

2. Формирование погрузочно-транспортного звена из нескольких автопоездов возможно при расстояниях вывозки лесоматериалов до 70–80 км.

3. Общая производительность погрузочно-транспортного звена возрастает с увеличением числа автопоездов в нем. При расстояниях вывозки 10–40 км наибольшую производительность имеет звено из трех автопоездов, два из которых с гидроманипулятором. По сравнению с вариантом №1 производительность возрастает: в 2,5–2,9 раза у звеньев, сформированных из автопоездов автомобиль + прицеп-ропуск; в 2,6–3,5 раза – у звеньев, сформированных из автопоездов автомобиль + прицеп; в 3,0–3,3 раза – для звеньев, в которых автопоезд с гидроманипулятором – автомобиль + прицеп-ропуск, а обслуживаемые – автомобиль + прицеп. С увеличением расстояния вывозки от 40 до 60 км наибольшая производительность у погрузочно-транспортного звена, в котором гидроманипулятор установлен на каждом четвертом автопоезде.

4. С уменьшением доли автопоездов с гидроманипулятором в звене средневзвешенная производительность лесотранспортных средств снижается. Вариант работы, при котором все автопоезда оснащаются манипуляторами, имеет лучшие показатели средневзвешенной производительности: при среднем расстоянии вывозки сортиментов до 60 км у автопоездов автомобиль + прицеп-ропуск; до 45 км у автопоездов автомобиль + прицеп; до 35 км для звеньев, в которых автопоезд с гидроманипулятором автомобиль + прицеп-ропуск, а обслуживаемые автопоезда – автомобиль + прицеп.

5. Соотношение объемов инвестиций и эксплуатационных затрат по сравниваемым вариантам зависит от расстояния вывозки лесоматериалов. При одинаковом числе требуемых лесовозных автопоездов для вывозки заданного объема сортиментов размер инвестиций и эксплуатационных затрат у вариантов, в которых автопоезда с гидроманипулятором обслуживают автопоезда без гидроманипулятора, ниже.

6. Эксплуатация погрузочно-транспортных звеньев, сформированных из автопоездов автомобиль + прицеп, более эффективна, чем автопоезда с прицепом-ропуском. Они имеют меньшие удельные эксплуатационные затраты в 1,1–1,3 раза в зависимости от варианта комплектования, объема и расстояния вывозки лесоматериалов.

Список литературы

1. Смирнов, М.Ю. Основы комплектования погрузочно-транспортного звена лесовозных автопоездов: монография / М.Ю. Смирнов, И.Р. Бакулина. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2010. – 152 с.

2. Бакулина, И.Р. Технология работы звена лесовозных автопоездов / И.Р. Бакулина, М.Ю. Смирнов // Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 10021; зарегистрировано в Отраслевом фонде алгоритмов и программ 19.02.2008.

3. Бакулина, И.Р. Расчет продолжительности погрузочно-разгрузочных работ навесным гидроманипулятором / И.Р. Бакулина, М.Ю. Смирнов // Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 9400; зарегистрировано в Отраслевом фонде алгоритмов и программ 01.11.2007.

4. Бакулина, И.Р. Продолжительность погрузки и выгрузки сортиментов при совместной эксплуатации автопоездов с гидроманипуляторами и без них / И.Р. Бакулина, М.Ю. Смирнов // Будущее техни-

ческой науки: Тезисы докл. VIII междунар. молодежной науч.-техн. конф. – Н. Новгород: НГТУ, 2009. – С.161-162.

5. 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.

6. Смирнов, М.Ю. Исследование затрат времени на погрузку сортиментов навесным гидроманипулятором / М.Ю. Смирнов, Ю.С. Андрианов, Н.А. Попова; Марийск. гос. техн. ун-т. – Йошкар-Ола, 1999. – 37 с. – Деп. в ВИНТИ 08.07.99, № 2220 – B99.

7. Смирнов, М.Ю. Определение продолжительности простоев автопоездов с гидроманипуляторами в пунктах погрузки и выгрузки лесоматериалов / М.Ю. Смирнов, И.Р. Бакулина // Ресурсосберегающие и экологически перспективные технологии и машины лесного комплекса будущего: материалы междунар. науч.-практич. конф. – Воронеж: ВГЛТА, 2009. – С. 351–356.

Статья поступила в редакцию 16.02.11.

М. Yu. Smirnov, I.R. Bakulina

ECONOMIC EFFICIENCY LIMITS ANALYSIS OF LOADING, TRANSPORTATION AND UNLOADING OF TIMBER WITH THE HELP OF ROAD TRAINS LINKS

An algorithm of road trains functioning as part of a link is carried out. The method for time calculation of loading and unloading operations with a mounted hydraulic manipulator is developed. The technique, the algorithm, and the program for calculation of economic efficiency indicators of timber road-trains exploitation as part of a link are elaborated. The limits of efficient work of road-train links are defined.

Key words: road train, link, assortments, mounted hydraulic manipulator, loading, logging, economic efficiency.

СМИРНОВ Михаил Юрьевич – кандидат технических наук, профессор кафедры транспортно-технологических машин МарГТУ. Область научных интересов – автомобильный транспорт лесоматериалов. Автор 160 публикаций.

E-mail: SmirnovMY@marstu.net

БАКУЛИНА Ирина Рифатовна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры начертательной геометрии и инженерной графики МарГТУ. Область научных интересов – автомобильный транспорт лесоматериалов. Автор 31 публикации.

E-mail: BakulinaIR@marstu.net

УДК 674.047:66.047.45(075.8)

*А. Г. Гороховский, Е. Е. Шишкина, А. А. Гороховский***ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ**

Рассмотрено влияние режима сушки на качество высушенной древесины. Разработана и приведена методика оптимизации режимов сушки по требуемой категории качества.

Ключевые слова: оптимизация, режимы сушки пиломатериалов, показатели качества сушки.

Введение. Анализируя мнение основоположников отечественной науки о сушке древесины Н.С. Селюгина [1], П.С. Серговского [2] и И.В. Кречетова [3], можно выделить следующие основные факторы, определяющие качество сушки пиломатериалов:

- требования к качеству сушки;
- контроль качества;
- свойства древесины как материала, подвергаемого сушке;
- технология сушки.

Руководящие технические материалы (РТМ) [4] нормируют требования к качеству сушки, устанавливая при этом:

- категории качества сушки;
- перечень показателей качества сушки, к которым относятся:
 - а) соответствие средней влажности высушенных пиломатериалов в штабеле заданной конечной влажности;
 - б) величина отклонений влажности отдельных досок или заготовок от средней влажности пиломатериалов в штабеле;
 - в) перепад влажности по толщине пиломатериалов (заготовок);
 - г) остаточные напряжения в высушенных пиломатериалах (заготовках);
- значение показателей и условия их определения.

Показатели качества сушки пиломатериалов (заготовок) подлежат нормированию. Нормы устанавливаются в зависимости от категории качества сушки и условий эксплуатации изделий [4].

Вопросы, касающиеся влияния режимов сушки на качество сушки пиломатериалов, весьма подробно исследованы в 50-е – 80-е гг. прошлого века [2, 5 – 9 и др.].

П.С. Серговский, один из основоположников отечественной науки о сушке древесины, в [2, 5, 6] отмечает, что от режима сушки зависят не все качественные показатели, а только два из них: целостность материала, обусловленная величиной полных внутренних напряжений в древесине, и степень сохранения прочности древесины, обусловленная уровнем и длительностью температурных воздействий на нее.

Целью работы является разработка методики аналитической оптимизации режимов конвективной сушки пиломатериалов в камерах периодического действия.

Объектом исследований явились структура и величины параметров режимов конвективной сушки пиломатериалов.

Построение режимов сушки должно производиться таким образом, что по ходу всего процесса максимальные значения внутренних напряжений в древесине не превысили максимально допустимой величины. Режим характеризуется коэффициентом безопасности:

$$B = \frac{\sigma_{\text{пр.р.}}}{\sigma_{\text{макс}}}, \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{пр.р.}}$ – расчетный предел прочности древесины;

$\sigma_{\text{макс}}$ – максимальная величина внутренних напряжений.

Оптимальной является (по мнению авторов) такая величина параметров сушильного агента (t и ϕ), при которой $B = 1$. Если $B < 1$, то режим не обеспечивает сохранения целостности материала, если $B > 1$, то не достигается максимально возможная интенсивность процесса. При этом сам П.С. Серговский не дает ответа на вопрос о возможных (допустимых) отклонениях величины B при разработке и практическом изменении конкретного режима, а Л.П. Красухина [8] дает величину $\pm 0,02$, т.е. $\pm 2\%$. Однако РТМ [10] для предела прочности древесины дает значение коэффициента вариации 10% . При этом качество сушки может быть полностью гарантировано при $B = 1,3$ (с вероятностью $p = 99,87\%$) [11]. Соответственно, при $B = 1,2$ гарантировано с вероятностью $p = 95\%$, а при $B = 1,1 - p = 90\%$.

Совокупность параметров режима однозначно определяет величину показателей эффективности и качества высушиваемой древесины [11]. Следовательно, задача о повышении значений данных показателей может рассматриваться как оптимизационная (рис. 1).

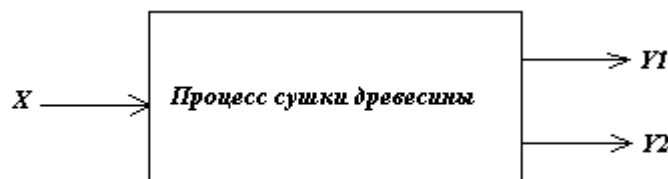


Рис. 1. Постановка задачи оптимизации процесса сушки древесины:
 X – вектор управляющих факторов; $Y1$ – вектор параметров эффективности;
 $Y2$ – вектор параметров качества

Для математического описания процесса низкотемпературной конвективной сушки неограниченной пластины (пиломатериала) А.В. Лыков [12, 13], М.С. Смирнов [14] и Г.С. Шубин [15] предлагают следующую систему дифференциальных уравнений в частных производных (ДУЧП).

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t + \frac{\varepsilon \cdot \rho}{c} \frac{\partial u}{\partial \tau}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = a_m \nabla^2 u + a_m \delta \nabla^2 t. \quad (3)$$

Для неограниченной пластины начальные и граничные условия III рода имеют вид:

$$t(x_0, 0) = f(x), \quad (4)$$

$$u(x, 0) = \phi(x), \quad (5)$$

$$-\lambda \frac{\partial t(R, \tau)}{\partial x} + \alpha [t_c - t(R, \tau)] - (1 - \varepsilon) \rho \alpha_m [u(R, \tau) - u_p] = 0 \quad (6)$$

$$a_m \frac{\partial u(R, \tau)}{\partial x} + a_m \delta \frac{\partial t(R, \tau)}{\partial x} + \alpha_m [u(R, \tau) - u_p] = 0 \quad (7)$$

Условие симметрии:

$$\frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} = \frac{\partial u(0, \tau)}{\partial x} = 0, \quad (8)$$

где t – температура, $^{\circ}\text{C}$;

u – влажность;

τ – время, с;

a – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$;

a_m – коэффициент влагопроводности, $\text{м}^2/\text{с}$;

ε – коэффициент фазового превращения;

ρ – плотность древесины, $\text{кг}/\text{м}^3$;

c – теплоемкость древесины, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{град})$;

δ – термоградиентный коэффициент;

x – координата в направлении толщины пластины, м;

R – половина толщины пластины, м;

λ – коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{град})$;

α – коэффициент теплообмена, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{град})$;

α_m – коэффициент влагообмена, $\text{м}/\text{с}$;

ρ_b – базисная плотность древесины, $\text{кг}/\text{м}^3$;

t_c – температура среды, $^{\circ}\text{C}$;

u_p – равновесная влажность древесины.

Для решения системы (2) – (8) разработано программное обеспечение (ПО) в вычислительной среде Mathcad – 14 [16] на основе неявного метода [17–19]. Кроме того, использовалось ПО для расчета внутренних напряжений [11] на основе многостержневой модели доски [20]. Используя вышеупомянутое ПО, был реализован вычислительный эксперимент. Постоянными факторами при проведении эксперимента были следующие:

1) вид пиломатериала – условный (сосна, сечение 40x150 мм);

2) тип режима – бесступенчатый [11]

- температура обрабатываемой среды

$$t_c = t_n + (t_k - t_n) \frac{(u_n - u)}{(u_n - 0,1)}; \quad (9)$$

- равновесная влажность

$$u_p = u_{pk} + (u_{pn} - u_{pk}) e^{-e^{-(b_0 + b_1 u)}}, \quad (10)$$

где t_n, t_k – соответственно начальная и конечная температура агента сушки, $^{\circ}\text{C}$;

u_n, u – соответственно начальная и текущая влажность древесины;

u_{pn}, u_{pk} – соответственно начальное и конечное значение равновесной влажности;

b_0, b_1 – коэффициенты.

Выражение (10) представляет собой функцию желательности [21], которая характеризуется двумя переходными значениями u , обозначенными соответственно u_{n1} и u_{n2} . Причем $u_{n2} = 0,35$ и $u_n = 0,6$ – оставались постоянными во всех опытах. Теплофизические характеристики древесины и среды определялись по известным выражениям Г.С. Шубина [15]. Переменные факторы при проведении эксперимента: u_{pn} (x_1), u_{pk} (x_2), u_{n1} (x_3), t_n (x_4), t_k (x_5).

Факторы варьировались на трех уровнях, их значения в кодированном и натуральном выражении представлены в табл. 1.

Выходные параметры:

τ_1 (y_1) – продолжительность сушки пиломатериалов до влажности $W = 12\%$;

τ_2 (y_2) – продолжительность сушки пиломатериалов до влажности $W = 7\%$;

S_T (y_3) – перепад влажности по толщине доски [4];

S_w (y_4) – среднее квадратическое отклонение влажности [22, 23];

B_{min} (y_5) – минимальное значение критерия безопасности режима в процессе каждой сушки.

Т а б л и ц а 1

Переменные факторы при проведении вычислительного эксперимента

Факторы	Значение фактора на уровнях					
	Нижний		Основной		Верхний	
	Кодир.	Натур.	Кодир.	Натур.	Кодир.	Натур.
u_{pn} (x_1)	-	0,1	0	0,14	+	0,18
u_{pk} (x_2)	-	0,02	0	0,03	+	0,04
u_{nl} (x_3)	-	0,1	0	0,15	+	0,2
t_n (x_4)	-	60	0	70	+	80
t_k (x_5)	-	80	0	90	+	100

В процессе эксперимента был реализован план Хартли [24], состоящий из 27 опытов. В результате были получены зависимости каждого выходного параметра от входных в виде полиномов второго порядка.

Затем проводилась оптимизация по каждому из выходных параметров (τ_1 , τ_2 , S_T , S_w , B_{min}).

Постановка задач оптимизации была следующая:

$$\left. \begin{array}{l} y_1 \rightarrow \min \\ -1 \leq X \leq 1 \end{array} \right\} \quad (11)$$

$$\left. \begin{array}{l} y_2 \rightarrow \min \\ -1 \leq X \leq 1 \end{array} \right\} \quad (12)$$

$$\left. \begin{array}{l} y_3 \rightarrow \min \\ -1 \leq X \leq 1 \end{array} \right\} \quad (13)$$

$$\left. \begin{array}{l} y_4 \rightarrow \min \\ -1 \leq X \leq 1 \end{array} \right\} \quad (14)$$

$$\left. \begin{array}{l} y_5 \rightarrow \min \\ -1 \leq X \leq 1 \end{array} \right\} \quad (15)$$

$$\text{где } X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{pmatrix}$$

Результаты оптимизации, проведенной в вычислительной системе Mathcad-14 (с применением процедуры Given-Minimize), приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Результаты оптимизации режима сушки по частным критериям

Управляющий фактор	Значения управляющих факторов для критериев оптимальности				
	τ_1 (час)	τ_2 (час)	S_T	S_w	$B_{\min}$
u_{pn}	0,1	0,1	0,18	0,18	0,18
u_{pk}	0,02	0,02	0,04	0,04	0,02
u_{pl}	0,2	0,174	0,1	0,1	0,1
$t_n, ^\circ C$	80	80	60	60,5	80
$t_k, ^\circ C$	92	100	100	99,5	100
Значение критерия оптимальности	90,8	120	0,011	0,088	2,039

Однако наибольший интерес представляют результаты оптимизации режима по требуемой категории качества (табл. 3). Постановка задачи оптимизации была следующей:

I категория качества:

$$\left. \begin{array}{l} \tau_2 \rightarrow \min \\ -1 \leq X \leq 1 \\ B_{\min} \geq 1,3 \\ S_w \leq 0,01 \\ S_T \leq 0,02 \end{array} \right\} \quad (16)$$

II категория качества:

$$\left. \begin{array}{l} \tau_2 \rightarrow \min \\ -1 \leq X \leq 1 \\ B_{\min} \geq 1,2 \\ S_w \leq 0,015 \\ S_T \leq 0,025 \end{array} \right\} \quad (17)$$

III категория качества:

$$\left. \begin{array}{l} \tau_2 \rightarrow \min \\ -1 \leq X \leq 1 \\ B_{\min} \geq 1,2 \\ S_w \leq 0,02 \\ S_T \leq 0,035 \end{array} \right\} \quad (18)$$

Т а б л и ц а 3

Результаты оптимизации режимов сушки по категориям качества

Управляющий фактор / критерий качества	Значения управляющих факторов / критериев оптимальности		
	I	II	III
u_{pn}	0,168	0,11	0,1
u_{pk}	0,036	0,033	0,038
u_{pl}	0,1	0,1	0,2
$t_n, ^\circ C$	66,25	74,7	80
$t_k, ^\circ C$	100	100	100
τ_2 (час)	247	179	143
$B_{\min}$	1,703	1,299	1,263
S_T	0,019	0,03	0,035
S_w	0,01	0,015	0,02

На основании проведенных исследований можно сделать следующие **выводы**:

1. Целесообразно выбирать режим сушки, исходя из требуемой категории качества сушки, хотя действующие РТМ [4] это не предусматривают.
2. Выбор режима соответственно категории качества позволяет существенно снизить продолжительность сушки, а значит и расход энергии. Кроме того, это позволит иметь большую производительность камеры.
3. Высокое качество сушки (даже соответствующее I категории) может быть достигнуто без применения влаготепло- и кондиционирующей обработки пиломатериалов.

Список литературы

1. Селюгин, Н.С. Сушка древесины / Н.С. Селюгин. – М.; Л.: Гослестехиздат, 1949. – 535 с.
2. Серговский, П.С. Гидротермическая обработка древесины / П.С. Серговский. – М.: Лесная промышленность, 1975. – 400 с.
3. Кречетов, И.В. Сушка древесины / И.В. Кречетов. – М.: Лесная промышленность, 1977. – 496 с.
4. Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки древесины. – Архангельск: ЦНИИМОД, 1985. – 143 с.
5. Серговский, П.С. О рациональных режимах сушки пиломатериалов в воздушных камерах периодического действия / П.С. Серговский // Деревообрабатывающая промышленность. – 1969. – № 2. – С. 1–4.; № 3. – С. 1–4.
6. Серговский, П.С. О рациональных режимах сушки пиломатериалов в высокотемпературных сушилах / П.С. Серговский // Деревообрабатывающая промышленность. – 1962. – № 1. – С. 4–8.; № 2. – С. 2–6.
7. Николайчук, М.В. Оптимальная степень насыщенности сушильного агента в процессе сушки пиломатериалов хвойных пород при пониженных температурах / М.В. Николайчук // Механическая обработка древесины. – 1973. – № 1. – С. 7–9.
8. Красухина, Л.П. О рациональных режимах сушки березовых пиломатериалов в камерах периодического действия / Л.П. Красухина // Деревообрабатывающая промышленность. – 1988. – № 6. – С. 5–7.
9. Серговский, П.С. Новые режимы сушки осинового пиломатериала / П.С. Серговский, А.А. Фахретдинов // Деревообрабатывающая промышленность. – 1991. – № 1. – С. 4–7.
10. Руководящие технические материалы: Древесина. Показатели физико-механических свойств. – М.: Стандартгиз, 1962. – 48 с.
11. Гороховский, А.Г. Технология сушки пиломатериалов на основе моделирования и оптимизации процессов тепломассопереноса в древесине: дисс. ... д-ра техн. наук / Гороховский Александр Григорьевич. – СПб, 2008. – 263 с.
12. Лыков, А.В. О предельных переходах системы дифференциальных уравнений тепломассопереноса / А.В. Лыков // Инженерно-физический журнал. – 1973. – Т. XXIV. – № 1. – С. 152–155.
13. Лыков, А.В. О системах дифференциальных уравнений тепломассопереноса в капиллярно-пористых телах / А.В. Лыков // Инженерно-физический журнал. – 1974. – Т. XXVI. – № 1. – С. 18–25.
14. Смирнов, М.С. О системе дифференциальных уравнений процесса сушки / М.С. Смирнов // Инженерно-физический журнал. – 1961. – Т. IV. – № 9. – С. 40–44.
15. Шубин, Г.С. Сушка и тепловая обработка древесины / Г.С. Шубин. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 336 с.
16. Макаров, Е.Г. Mathcad: Учебный курс / Е.Г. Макаров. – СПб.: Питер, 2009. – 384 с.
17. Гаврилова, Р.И. Исследование процесса сушки с переменными коэффициентами тепло- и массопереноса / Р.И. Гаврилова // Инженерно-физический журнал. – 1964. – Т. VII. – № 8. – С. 37–42.
18. Логинов, Л.И. Численное интегрирование системы уравнений тепломассообмена с помощью неявных формул / Л.И. Логинов, П.П. Юшков // Инженерно-физический журнал. – 1960. – Т. III. – № 10. – С. 93–108.
19. Юшков, П.П. О численном интегрировании уравнения теплопроводности в случае, когда термические коэффициенты зависят от температуры / П.П. Юшков // Инженерно-физический журнал. – 1958. – Т. I. – № 9. – С. 102–108.
20. Уголев, Б.Н. Контроль напряжений при сушке древесины / Б.Н. Уголев, Ю.Г. Лапшин, Е.В. Кротов. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 206 с.
21. Пижури, А.А. Основы моделирования и оптимизации процессов деревообработки / А.А. Пижури, М.С. Розенблит. – М.: Лесная промышленность, 1988. – 287 с.

22. Пинчевская, Е.А. Прогнозирование уровня качества сушки пиломатериалов / Е.А. Пинчевская // Деревообрабатывающая промышленность. – 2008. – № 3. – С. 8–12.
23. Пинчевская, Е.А. Оценка качества сушки пиломатериалов с учетом изменчивости свойств материала и среды / Е.А. Пинчевская // Деревообрабатывающая промышленность. – 2008. – № 4. – С. 9–12.
24. Пен, Р.З. Статистические моделирования и оптимизации процессов ЦБП / Р.З. Пен. – Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1982. – 352 с.

Статья поступила в редакцию 10.06.10.

A.G. Gorokhovsky, E.E. Shishkina, A.A. Gorokhovsky

OPTIMIZATION OF TIMBER DRYING SCHEDULES

Drying schedule impact on the dried timber quality is examined. The method of drying schedules optimization depending on the required quality class is developed.

Key words: *optimization, timber drying schedules, drying quality indexes.*

ГОРОХОВСКИЙ Александр Григорьевич – доктор технических наук, заведующий кафедрой древесиноведения и специальной обработки древесины Уральского государственного лесотехнического университета. Область научных интересов – сушка древесины. Автор более 70 публикаций.

E-mail: niidrev@epn.ru

ШИШКИНА Елена Евгеньевна – кандидат технических наук, доцент кафедры древесиноведения и специальной обработки древесины Уральского государственного лесотехнического университета. Область научных интересов – сушка древесины. Автор более 30 публикаций.

E-mail: elenashishkina@yandex.ru

ГОРОХОВСКИЙ Александр Александрович – аспирант кафедры древесиноведения и специальной обработки древесины Уральского государственного лесотехнического университета. Область научных интересов – сушка древесины. Автор пяти публикаций.

E-mail: niidrev@epn.ru

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

УДК 630.378, 539.3

*А. Г. Поздеев, Ю. А. Кузнецова,
Ю. В. Лоскутов, А. Е. Трухан*

АНАЛИЗ ПОСЛЕДСТВИЙ РАЗРУШЕНИЯ ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ НЕФТЕПРОВОДОВ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДОТОКОВ

Рассмотрен процесс разбавления загрязненных вод и составлена модель кислородного баланса водоемов при загрязнении нефтяными выбросами на основе системного подхода. Произведена оценка распространения нефтяного загрязнения в водном потоке. Разработана системная модель оценки ущерба окружающей природной среде от загрязнения нефтепродуктами для сбора нефти с поверхности реки при аварийных разливах. Предложена конструкция нефтесборщика.

Ключевые слова: экологическая безопасность, системная модель, нефтепроводы, подводные переходы, нефтесборщик.

Введение. Эксплуатация магистральных нефтепроводов является одним из наиболее опасных источников нарушения экологического равновесия природной среды. В процессе эксплуатации линейные части нефтепроводов могут разрушаться, приводя к загрязнению окружающей природной среды. Ликвидация последствий разрушения нефтепроводов требует больших экономических затрат и приводит к необратимым экологическим последствиям.

Анализ причин возникновения чрезвычайных ситуаций при транспорте нефти и нефтепродуктов [1] показал, что особую опасность представляют участки через водные преграды: реки, ручьи и болота. Нарушение гидрологического режима водотоков, связанное с прокладкой в их створах подводных переходов, вызывает появление силовых нагрузок, не учитываемых при проектировании линейных частей трубопроводов [2, 3]. Это существенно снижает надежность и экологическую безопасность нефтепроводов в целом. Поэтому разработка мероприятий для обеспечения бесперебойной работы подводных переходов нефтепроводов и ликвидации последствий нарушений их герметичности с целью соблюдения экологического равновесия водотоков является **актуальной задачей**.

В имеющихся литературных источниках содержатся разрозненные данные, имеющие отношение к анализу последствий разрушения подводных переходов нефтепроводов и их влияния на экологическое состояние водотоков. В частности, ряд работ посвящен определению причин разрыва стенок трубопроводов и оценке объемов залповых выбросов нефтепродуктов [2]. В ряде работ делаются попытки количественной оценки содержания нефтепродуктов в речной воде при аварийных ситуациях [4]. Наиболее полная оценка влияния разбавления загрязнений водами природных объектов выполнена в источниках, посвященных расчету разбавления сточных вод промышленных предприятий [5,6]. В отдельных работах предлагаются инженерные методы прогнозирования качества воды водоемов при загрязнении сточными водами [6], при этом в работах, относящихся к защите водоемов от нефтяных загрязнений, описываются технические устройства преимущественно мобильного типа, не привязанные к конкретным гидрологическим параметрам водоемов [7]. По нашему мнению, исследования процессов распространения загрязнений в водных потоках должны осуществляться на основе системного подхода [8], при котором параметры оцениваются во взаимосвязи друг с другом с учетом их изменения во времени [9]. В связи с этим должны создаваться реализуемые в прикладной программной среде математические модели [10], которые основываются на применении эффективных численных методов решения дифференциальных уравнений [11]. При этом численные значения исходных для расчета параметров должны соответствовать нормативным и экспериментальным данным [1], а также принимать во внимание правила охраны окружающей природной среды при транспорте нефти [3].

Целью работы является получение количественных оценок экологических последствий разрушения подводных переходов при эксплуатации магистральных нефтепроводов на основе системного анализа.

Объектом исследования является распространение нефтяного загрязнения при повреждении подводного перехода. **Предметом исследования** являются модели, алгоритмы и программы решения задач распространения нефтяного загрязнения при разрушении подводных переходов нефтепроводов и их влияния на экологическое состояние водотоков.

Решаемые задачи:

1) проанализировать характер распространения нефтяного загрязнения в водном потоке при разрушении подводных переходов нефтепроводов;

2) произвести решение обыкновенного дифференциального уравнения одномерной турбулентной диффузии загрязнения методами информационных технологий для оценки эффективности применения прикладных программных пакетов по предмету исследования;

3) выявить методы численного дифференцирования уравнений нестационарной турбулентной диффузии, свободные от неустойчивости решений;

4) разработать балансовую системную модель распространения загрязнения в водном потоке и на основании известных параметров залпового выброса нефти и гидрологических характеристик водотока произвести расчет зависимостей дефицита кислорода от времени и расстояния от места выброса нефти до створа максимального дефицита кислорода;

5) разработать системную модель ущерба окружающей природной среде от загрязнения нефтепродуктами и на основе программы расчета ее показателей в имитационном режиме оценить динамику массы углеводородов;

6) наметить способы сбора нефтепродуктов с поверхности водотоков с учетом анализа характера распространения нефтяных загрязнений при аварийных разливах.

Методы исследования. Для решения сформулированных задач исследования использованы методы математического и системного анализа, элементы теории дифференциальных уравнений и их численного решения, а также приемы программирования в прикладной программной среде MathCad.

Характер распространения нефтяного загрязнения в водном потоке. Практика показывает [1], что основным негативным последствием аварий на магистральных нефтепроводах является воздействие на окружающую природную среду загрязнения водных объектов, почвы и атмосферы.

Нефтяное пятно при залповом выбросе из подводного трубопровода представляет собой полосу, в средней области более широкую, чем по краям [4]. Из трещин нефть уходит каплями и на поверхности образует отдельные пятна [2]. У берегов нефтяное пятно прижимается к линии уреза.

На реках со слабым течением скорость движения нефтяного пятна составляет 3...4 % скорости ветра. Полное перемешивание нефтяных продуктов с пресной водой происходит за 4...7 суток. Изменение концентрации нефтяного загрязнения в водотоке связано с процессом перемешивания и разбавления нефтяного пятна водами основного потока, с одной стороны, а также разложением нефти в результате биохимических процессов, с другой стороны.

Модель процесса разбавления загрязненных вод в проточных водных объектах. Залповый выброс нефти приводит к загрязнению водоема, которое распространяется под действием течения вниз по потоку. В процессе движения нефтяное загрязнение перемешивается с водой.

В случае одномерного приближения распространение загрязнения вдоль потока под влиянием турбулентного перемешивания описывается уравнением турбулентной диффузии [11]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} - V_l \frac{\partial C}{\partial l} - D_l \frac{\partial^2 C}{\partial l^2} = 0, \quad (1)$$

где C – концентрация загрязнения, кг/м³; V_l – скорость водного потока, м/с; D_l – коэффициент турбулентной диффузии, м²/с; l – продольная координата потока, м; t – время, с.

Стационарное уравнение турбулентной диффузии имеет вид:

$$V_l \frac{\partial C}{\partial l} + D_l \frac{\partial^2 C}{\partial l^2} = 0, \quad (2)$$

где концентрация C является функцией продольной координаты потока, поэтому $\frac{\partial C}{\partial t} = 0$.

Уравнение (2) может быть преобразовано к виду

$$p \frac{\partial C}{\partial l} + \frac{\partial^2 C}{\partial l^2} = 0. \quad (3)$$

При постоянном параметре $p = \frac{V_l}{D_l}$ получим линейное однородное уравнение

второго порядка, которое допускает аналитическое решение.

Будем искать решение в виде

$$C = e^{kl}, \text{ где } k = \text{const}, \quad (4)$$

тогда $\frac{\partial C}{\partial l} = ke^{kl}$; $\frac{\partial^2 C}{\partial l^2} = k^2 e^{kl}$. (5)

Подставляя полученные выражения производных в уравнение (3), находим:

$$e^{kl}(k^2 + pk) = 0. \quad (6)$$

Так как $e^{kl} \neq 0$, то

$$k^2 + pk = 0. \quad (7)$$

Из характеристического уравнения (7) находим два корня

$$k_1 = 0; k_2 = -p = -\frac{V_l}{D_l}. \quad (8)$$

Корни характеристического уравнения действительны и различны: $k \neq k_2$.

В этом случае частными решениями будут функции

$$C_1 = e^{k_1 l} = 1; C_2 = e^{k_2 l} = e^{-\frac{V_l l}{D_l}}. \quad (9)$$

Эти решения линейно независимы, так как

$$\frac{C_2}{C_1} = e^{-\frac{V_l l}{D_l}} \neq \text{const}. \quad (10)$$

Следовательно, общий интеграл имеет вид

$$C = C_p + C_{cm} e^{-\frac{V_l l}{D_l}}. \quad (11)$$

В данном случае величина C_p является фоновой концентрацией загрязнения. Примем фоновую концентрацию равной предельно допустимой концентрации (ПДК) нефтяного загрязнения в чистой воде, которая, согласно руководящему документу [3], составляет $0,1 \dots 0,2 \text{ мг/л} = 1,0 \dots 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}^3$.

Величина C_{cm} определяет концентрацию загрязнения в створе выброса. Характер изменения концентрации загрязнения в зависимости от расстояния от створа выброса вниз по потоку вычислен в среде MathCad (рис.1). При необходимости расчет может быть выполнен для конкретных значений параметров, полученных в результате натурных измерений.

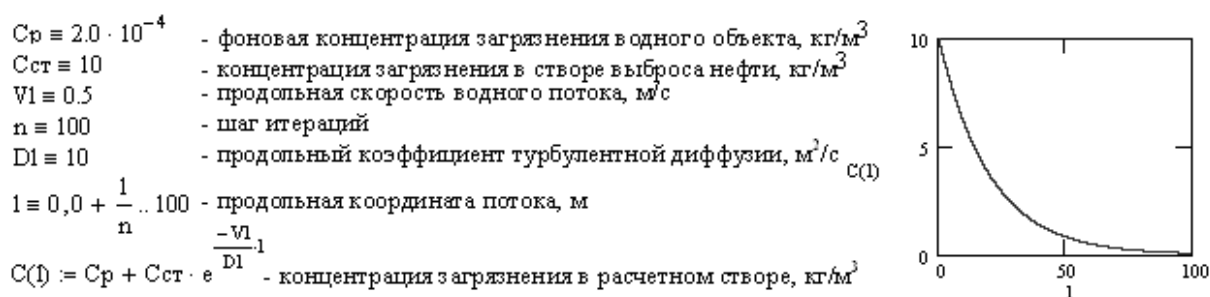


Рис. 1. Вычислительная процедура и график функции концентрации загрязнения в зависимости от расстояния до створа выброса вниз по потоку

Аналогичный результат решения обыкновенного дифференциального уравнения одномерной турбулентной диффузии загрязнения (2) может быть получен в системе MathCad с помощью встроенной функции Odesolve (рис. 2).

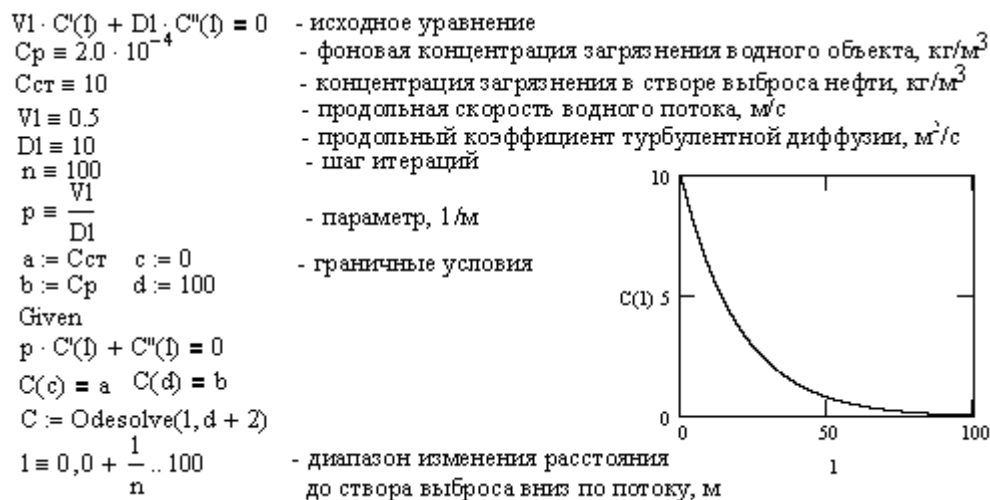


Рис. 2. Решение дифференциального уравнения турбулентной диффузии загрязнения с помощью функции Odesolve

Весьма странным является то, что в литературе, посвященной исследованиям распределения концентрации загрязнения водных потоков при разливах нефти и сбросах сточных вод [2, 4–6], рассматривается только стационарное уравнение турбулентной диффузии. Одномерное уравнение математической физики параболического типа (1) может быть решено численно, например, методом конечных разностей (рис. 3). Обозначения исходных данных решения уравнения соответствуют использованным выше (рис. 1 и 2).

Отметим, что неустойчивость операции численного дифференцирования методом конечных разностей вызывает необходимость применения вычислительной схемы Кранка-Николсона [11]. Впрочем, алгоритмы указанной вычислительной схемы достаточно широко известны [10].

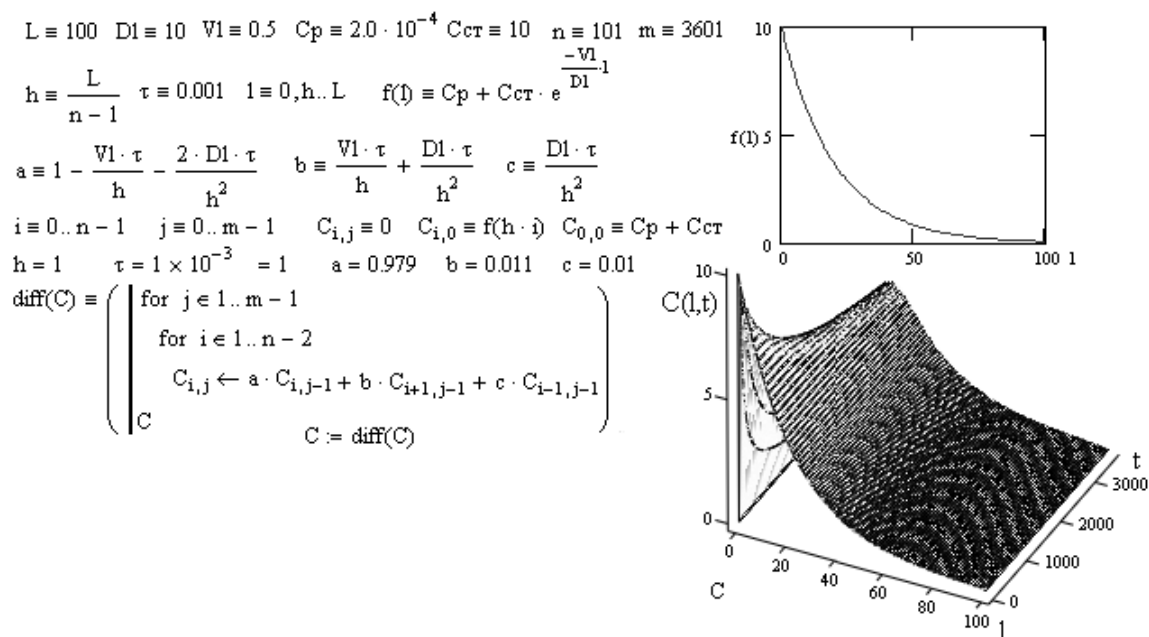


Рис. 3. Решение в программной среде MathCad дифференциального уравнения нестационарной турбулентной диффузии загрязнения

Системный подход к анализу процессов на подводных переходах. Выбор адекватной модели исследуемого процесса – один из важных шагов в моделировании, поскольку процесс упрощения может привести к потере исходной информации, в то время как излишняя детализация приводит к созданию сложного, не имеющего решения алгоритма.

В системной балансовой модели вводятся понятия уровня накопления субстанций и темпа потока, представляющего расход этой субстанции [8, 9]. Уровни графически изображаются в виде прямоугольников, а темпы потока в виде вентиля (рис. 4).



Рис. 4. Обозначения, принятые в модели Форрестера

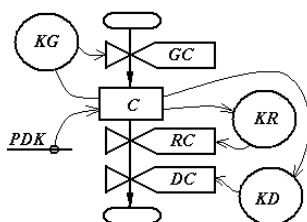


Рис. 5. Системная диаграмма процесса распространения загрязнения в водном потоке

Построим балансовую модель изучаемого процесса на основе системной диаграммы распространения нефтяного загрязнения в водном потоке, используя обозначения: PDK – предельно допустимая концентрация загрязнения, $\text{кг}/\text{м}^3$; C – концентрация нефтяного загрязнения в расчетном створе, $\text{кг}/\text{м}^3$; KR , KD , KG – коэффициенты разбавления, разложения и генерации загрязнения объекта, $1/\text{м}$; RC , DC , GC – темпы разбавления, разложения и генерации загрязнения, $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{м})$ (рис. 5).

На основе системной диаграммы процесса распространения загрязнения в водном потоке запишем уравнение темпов и уровней:

$$C = C_p + C_{ст}, \quad (12)$$

$$C = C + DI(GC - RC - DC); \quad (13)$$

$$GC = KG \cdot C; \quad (14)$$

$$RC = KR \cdot C; \quad (15)$$

$$DC = KD \cdot C, \quad (16)$$

где $C_{ст}$, C_p , C – концентрация загрязнения в створе выброса нефти, фоновая концентрация водного объекта и концентрация в расчетном створе ниже выброса нефти соответственно, $\text{кг}/\text{м}^3$, $C_p = PDK$; PDK – предельно допустимая концентрация (ПДК) нефтяного загрязнения, $\text{кг}/\text{м}^3$; GC , RC , DC – темпы изменения концентрации загрязнения за счет залпового выброса нефти, разбавления и разложения загрязнения водотока соответственно, $(\text{кг}/\text{м}^3)/\text{м}$; KG , KR , KD – параметры генерации, разбавления и разложения загрязнения водного объекта соответственно, $1/\text{м}$.

Программа и результаты расчета показателей распространения загрязнения в водном потоке в графической форме реализованы в среде MathCad (рис. 6).

Исходные параметры модели подобраны так, чтобы результаты расчета концентрации загрязнения по балансовой модели можно было сравнить с ее аналитическим выражением, носят иллюстративный характер.

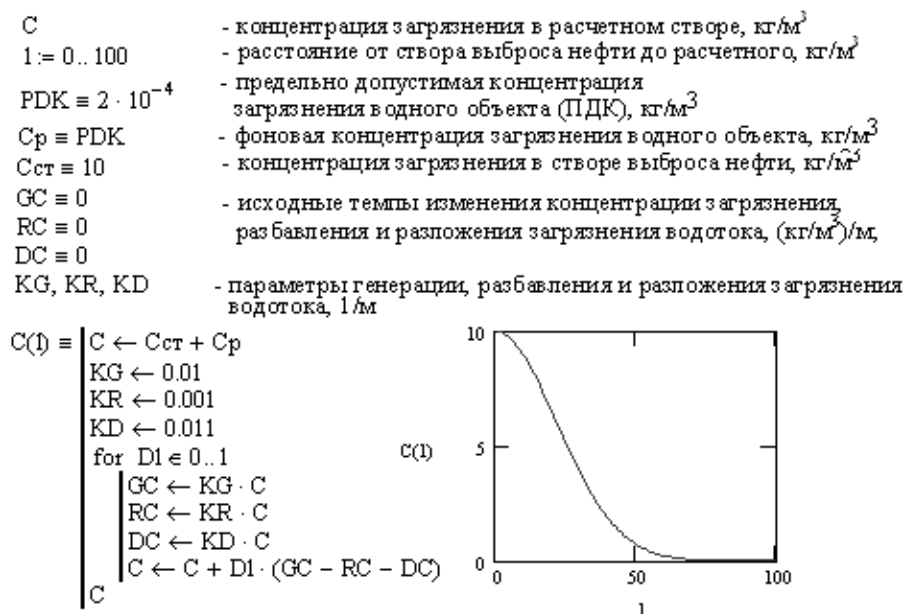


Рис. 6. Программа и результаты расчета зависимости концентрации нефтяного загрязнения от расстояния до створа выброса нефти

Системная модель кислородного баланса в реке при наличии органических загрязнений. При попадании нефти в водоток начинается процесс ее окисления, на что затрачивается растворенный в воде кислород. В результате концентрация кислорода в воде может значительно понизиться, что приводит к эвтрофированию водного объекта.

В одномерном приближении процессы, формирующие кислородный баланс в реке при наличии нефтяных загрязнений, описываются дифференциальными уравнениями [5]:

- биохимической потребности в кислороде:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\omega L) + \frac{\partial}{\partial l}(QL) = \frac{\partial}{\partial l} \left(\omega D_l \frac{\partial L}{\partial l} \right) - k_1 \omega L; \quad (17)$$

- растворенного кислорода:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\omega c) + \frac{\partial}{\partial l}(Qc) = \frac{\partial}{\partial l} \left(\omega D_l \frac{\partial c}{\partial l} \right) - k_1 \omega L + k_2 \omega (c_p - c), \quad (18)$$

где ω – площадь поперечного сечения русла, м^2 ; Q – расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$; k_1 – коэффициент скорости биохимического окисления нефти, $1/\text{с}$; k_2 – коэффициент скорости реэрации, $1/\text{с}$; D_l – коэффициент продольной диффузии, $\text{м}^2/\text{с}$; L – биохимическое потребление растворенного кислорода, кг/м^3 ; c – концентрация растворенного кислорода, кг/м^3 ; c_p – концентрация растворенного кислорода выше створа выброса нефти, кг/м^3 . Для ряда практических задач можно предположить, что формирование качества воды не зависит от конвективного переноса и диффузии вещества, тогда процесс кислородного баланса в реке при наличии нефти описывается дифференциальными уравнениями Стритера – Фелпса [6]:

$$\begin{cases} \frac{dL}{dt} = -k_1 L; \\ \frac{dD}{dt} = k_1 L - k_2 D \end{cases}, \quad (19)$$

где D , L – дефицит и концентрация кислорода, кг/м^3 ; k_1 – коэффициент скорости биохимического окисления нефти, $1/\text{с}$; k_2 – коэффициент скорости реаэрации, $1/\text{с}$.

Величины коэффициентов k_1 и k_2 можно определить по данным натурных исследований или по эмпирическим зависимостям.

Например, из уравнения Г. В. Стритера [5, 6] следует:

$$k_1 = \frac{2,3}{\tau} \lg \frac{C_0}{C_\tau}, \quad (20)$$

где C_0 – начальная концентрация загрязняющего вещества, кг/м^3 ;

C_τ – концентрация того же вещества через время τ (сут), кг/м^3 .

Коэффициент скорости реаэрации k_2 характеризует скорость поступления кислорода из атмосферы при постоянной температуре. Этот процесс протекает до полного насыщения воды кислородом в пределах его растворимости при данных значениях температуры и давления.

Шедшилл, Элмор, Букингем [6] предложили определять коэффициент реаэрации k_2 по зависимости:

$$k_2 = 5,75 \cdot 10^{-5} V_l^{0,969} H^{-1,673}, \quad (21)$$

где V_l – средняя скорость потока, м/с ; H – средняя глубина русла, м .

Для модели Стритера – Фелпса может быть построена системная диаграмма (рис. 7).

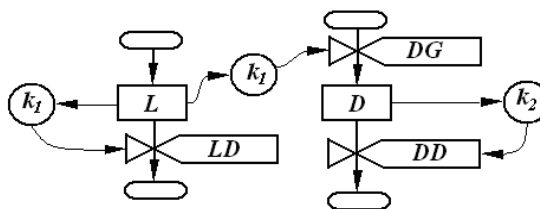


Рис. 7. Системная диаграмма модели Стритера – Фелпса

По системной диаграмме могут быть записаны конечно-разностные уравнения:

$$L = L - DT \cdot LD; \quad (22)$$

$$LD = k_1 \cdot L; \quad (23)$$

$$D = D + DT \cdot (DG - DD); \quad (24)$$

$$DG = k_1 \cdot L; \quad (25)$$

$$DD = k_2 \cdot D. \quad (26)$$

При $DT \rightarrow 0$ получим систему дифференциальных уравнений (19).

Систему дифференциальных уравнений (19) можно также представить в виде:

$$\begin{cases} \frac{dL}{dt} = -k_1 L \\ \frac{dc}{dt} = \frac{dL}{dt} + k_2 (c_p - c) \end{cases} \quad (27)$$

Решение конечно-разностных уравнений в среде MathCad (рис. 8) позволяет построить зависимость дефицита кислорода от времени.

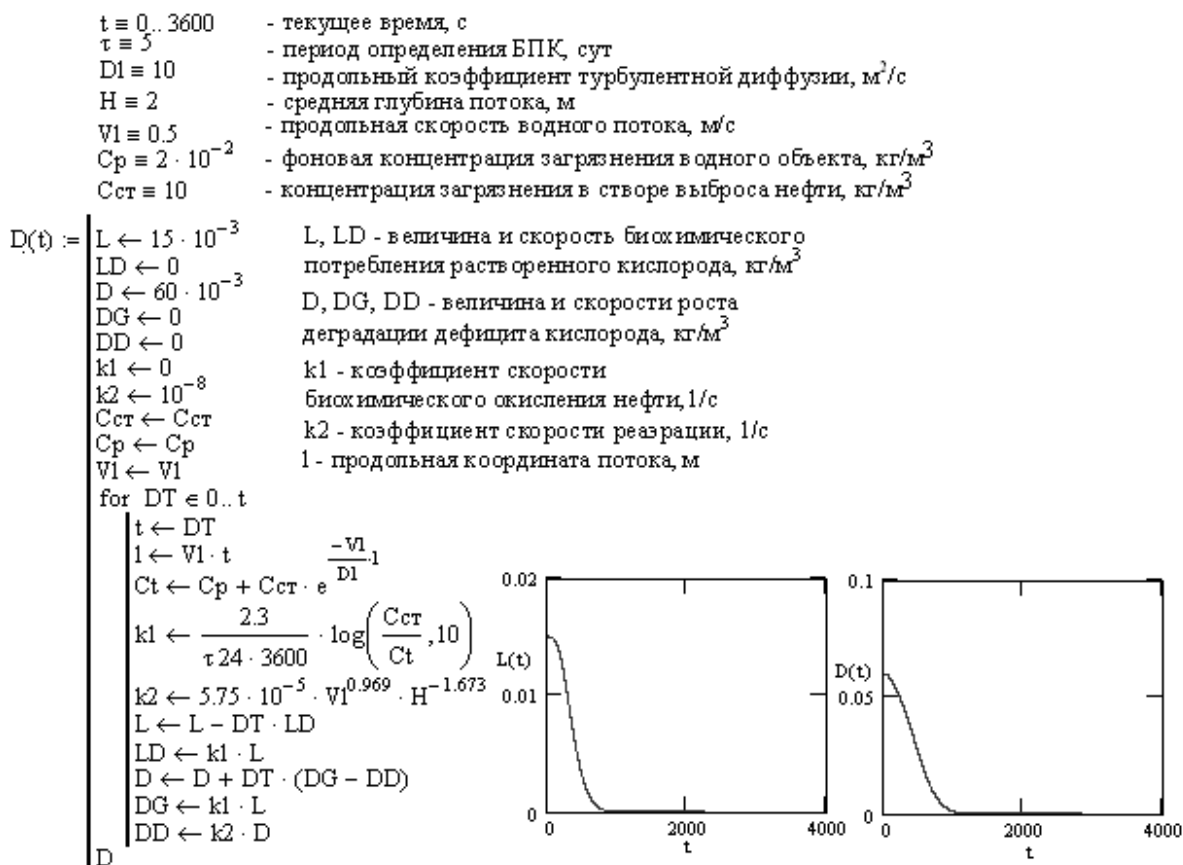


Рис. 8. Программа и результаты расчета зависимости дефицита кислорода от времени

Приняв начальные условия при $t = 0$ (в створе выброса нефти) $L_{(t=0)} = L_0$, $D_{(t=0)} = D_0$, $C_{(t=0)} = C_0$, можно получить следующие решения систем уравнений (19) и (27)

$$L = L_0 e^{-k_1 t}; \quad (28)$$

$$D = \frac{k_1}{k_2 - k_1} L_0 (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) + D_0 e^{-k_2 t}; \quad (29)$$

$$c = c_p - \frac{k_1}{k_2 - k_1} L_0 [e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}] - (c_p - c_0) e^{-k_2 t}, \quad (30)$$

где L_0 , D_0 , c_0 – соответственно биохимическое потребление, дефицит и концентрация кислорода в начальный момент времени (в створе выброса нефти), $\text{кг}/\text{м}^3$; c_p – фоновая концентрация кислорода в створе выброса нефти, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Дефицит кислорода в створе реки определяется подстановкой величины t , соответствующей времени добегания загрязнения от створа выброса до контрольного, в зависимость (29).

Между конечным D_t и начальным D_0 дефицитом кислорода существует следующая зависимость [3]:

$$D_t = D_0 10^{-k_2 t}. \quad (31)$$

$$\begin{aligned}
C_p &\equiv 2.0 \cdot 10^{-4} && \text{- фоновая концентрация загрязнения в одного объекта, кг/м}^3 \\
C_{ст} &\equiv 10 && \text{- концентрация загрязнения в створе выброса нефти, кг/м}^3 \\
V_l &\equiv 0.5 && \text{- продольная скорость водного потока, м/с} \\
H &\equiv 2 && \text{- средняя глубина потока, м} \\
C_0 &\equiv C_p && \text{- концентрация загрязнения в начальный момент времени, кг/м}^3 \\
\tau &\equiv 5 && \text{- период определения БПК, сут} \\
C_t &\equiv \frac{C_{ст}}{3} && \text{- концентрация загрязнения в текущий момент времени, кг/м}^3 \\
k_1 &\equiv \frac{2.3}{\tau \cdot 24 \cdot 3600} \cdot \log\left(\frac{C_{ст}}{C_t}, 10\right) && \text{- коэффициент скорости биохимического окисления нефти, 1/с} \\
k_2 &\equiv 5.75 \cdot 10^{-5} \cdot V_l^{0.969} \cdot H^{-1.673} && \text{- коэффициент скорости реэрации, 1/с} \\
n &\equiv 1 && \text{- шаг итераций} \\
t &\equiv 0, 0 + \frac{1}{n} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 5 && \text{- текущее время, с} \\
L_0 &\equiv 15 \cdot 10^{-3} && \text{- биохимическое потребление кислорода в начальный момент, кг/м}^3 \\
D_0 &\equiv 60 \cdot 10^{-3} && \text{- дефицит кислорода в начальный момент, кг/м}^3 \\
c_p &\equiv 40 \cdot 10^{-3} && \text{- фоновая концентрация кислорода в створе выброса нефти, кг/м}^3 \\
c_0 &\equiv 100 \cdot 10^{-3} && \text{- концентрация кислорода в момент выброса нефти, кг/м}^3 \\
L(t) &:= L_0 \cdot e^{-k_1 t} && \text{- биохимическое потребление кислорода в текущий момент, кг/м}^3 \\
D(t) &:= \frac{k_1}{k_2 - k_1} \cdot L_0 \cdot (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) + e^{-k_2 t} && \text{- дефицит кислорода в текущий момент, кг/м}^3 \\
c(t) &:= c_p - \left[\frac{k_1}{k_2 - k_1} \cdot L_0 \cdot (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) - (c_p - c_0) \cdot e^{-k_2 t} \right] && \text{- концентрация кислорода в текущий момент, кг/м}^3 \\
D_u(t) &:= D_0 \cdot 10^{-k_2 t} && \text{- дефицит кислорода в текущий момент по упрощенной зависимости, кг/м}^3 \\
t_{max} &\equiv \frac{1}{k_2 - k_1} \cdot \ln\left(\frac{k_2}{k_1} \cdot \frac{D_0}{L_0} \cdot \frac{k_2 - k_1}{k_1}\right) && \\
k_1 &= 2.54 \times 10^{-6} \quad k_2 = 9.212 \times 10^{-6} &&
\end{aligned}$$

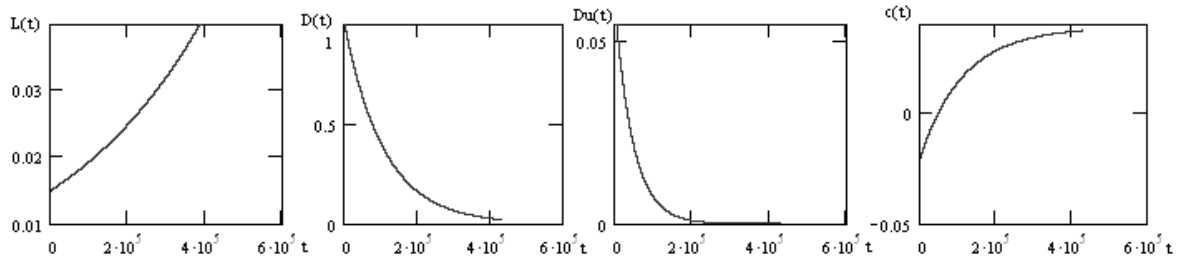


Рис. 9. Расчет расстояния от створа выброса нефти до максимального дефицита кислорода

Продифференцировав уравнение (29) и приравняв его к нулю, найдем время t_{max} , через которое наступит максимальный дефицит кислорода:

$$t_{max} = \frac{1}{k_2 - k_1} \ln \left[\frac{k_2}{k_1} \left(1 - \frac{D_0}{L_0} \frac{k_2 - k_1}{k_1} \right) \right]. \quad (32)$$

Считая движение воды в реке равномерным с постоянной скоростью течения V_l , можно найти расстояние l_{max} от створа выброса нефти до створа максимального дефицита кислорода (рис. 9) в виде:

$$l_{max} = V_l t_{max}. \quad (33)$$

Системная динамическая модель оценки ущерба окружающей природной среде от загрязнения нефтепродуктами. В таблице идентификаторов приведены переменные, описывающие ущерб, наносимый природной среде от загрязнения почв и акваторий.

**Обозначения элементов системы ущерба окружающей
природной среде от загрязнения нефтепродуктами**

Идентификатор	Вербальное описание	Размерность	Численное значение
<i>SP</i>	Масса углеводородов, испарившихся с поверхности почвы	кг/м ²	1,732 ($t^{\circ}=20^{\circ}\text{C}$)
<i>SPG</i>	Темп испарения углеводородов с поверхности почвы	(кг/м ²)/сут	0,072
<i>SW</i>	Масса углеводородов, испарившихся с поверхности водоемов	кг/м ²	0,318 ($t^{\circ}=20^{\circ}\text{C}$)
<i>SWG</i>	Темп испарения углеводородов с поверхности водоемов	(кг/м ²)/сут	0,003
<i>FP</i>	Площадь загрязнения почв нефтепродуктами	м ²	1
<i>FPG</i>	Темп увеличения площади загрязнения почв нефтепродуктами	м ² /сут	1,5
<i>FW</i>	Площадь загрязнения акваторий нефтепродуктами	м ²	1
<i>FWG</i>	Темп увеличения площади загрязнения водоемов нефтепродуктами	м ² /сут	100
<i>TV</i>	Температура воздуха	°C	20
<i>TVG</i>	Темп изменения температуры воздуха	°C/сут	0,1
<i>TP</i>	Температура почвы	°C	20
<i>TPG</i>	Темп изменения температуры почвы	°C/сут	0,1
<i>TW</i>	Температура воды	°C	20
<i>TWG</i>	Темп изменения температуры воды	°C/сут	0,1
<i>CPW</i>	Ущерб природной среде от загрязнения атмосферы	р	1
<i>HB</i>	Базовый норматив за выброс загрязняющих веществ в атмосферу	р/кг	1575
<i>KИ</i>	Коэффициент индексации ущерба окружающей среде	-	2
<i>KE</i>	Коэффициент экологической ситуации и экологической значимости атмосферного воздуха	-	1,1
<i>PK</i>	Повышающий коэффициент	-	5
<i>SPT</i>	Множитель влияния температуры воздуха и почвы на массу нефти, испарившейся с почвы	кг/(°C·сут)	0,0036
<i>SWT</i>	Множитель влияния температуры воздуха и воды на массу нефти, испарившейся с поверхности воды	кг/(°C·сут)	0,00015

В состав переменных включены семь уровней состояния, характеризующих физические процессы загрязнения преимущественно воздуха. Пять величин определяют значение экономической характеристики ущерба в зависимости от происходящих физических процессов загрязнения. Семь темпов изменения физических показателей характеризуют прирост (динамику) происходящих процессов. Два множителя влияния связывают подсистемы комплекса в единое целое. Таким образом, система оперирует с двадцатью одной переменной.

Переменные и постоянные параметры системы могут быть объединены в структурную диаграмму, на основании которой составляется система дифференциальных уравнений.

Элементы системы ущерба окружающей среде от загрязнения атмосферы определяются семью уровнями (SP , SW , FP , FW , TV , TP , TW) и семью темпами (SPG , SWG , FPG , FWG , TVG , TPG , TWG).

Ущерб природной среде (CPW) связан с нормативом за выброс загрязняющих веществ в атмосферу (HB) и коэффициентами индексации ущерба окружающей среде (KII) и экологической значимости атмосферного воздуха (KE), а также с повышающим коэффициентом (PK). Два множителя влияния (SPT и SWT) температуры связывают подсистемы между собой (рис. 10).

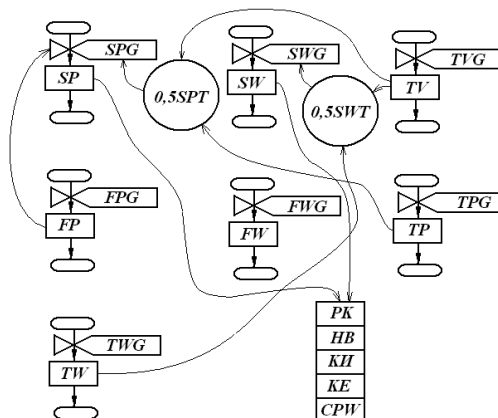


Рис. 10. Системная диаграмма оценки ущерба природной среде от загрязнения нефтепродуктами

Системная диаграмма позволяет записать уравнения темпов и уровней:
 $TW = TW + DT \cdot TWG$; $TW = 0 \dots 30$; $FP = FP + DT \cdot FPG$; $FP = 0 \dots 10^2$; $FW = FW + DT \cdot FWG$;
 $FW = 0 \dots 10^4$; $TP = TP + DT \cdot TPG$; $TP = 0 \dots 30$; $TV = TV + DT \cdot TVG$; $TV = 0 \dots 30$; $SP = SP + DT \cdot SPG$;
 $SPG = 0,5 \cdot SPT \cdot (TV + TP)$; $SW = SW + DT \cdot SWG$; $SWG = 0,5 \cdot SWT \cdot (TW + TV)$;
 $CPW = PK \cdot KE \cdot KII \cdot HB \cdot (SP + SW)$.

Подстановка численных значений переменных и постоянных величин системного комплекса (табл. 1) произведена на основании данных «Методики определения ущерба природной среде от разрушения нефтепроводов» и «Методических рекомендаций по определению платы за выбросы, сбросы, размещение загрязняющих веществ в природную среду» [1, 12].

Программа расчета показателей системного комплекса выполнена в среде MathCad (рис. 11).

```

t:=0..10
CPW(t):=
  SP←1.732
  SPG←0.072
  SW←0.318
  SWG←0.003
  FP←1
  FPG←1.5
  FW←1
  FWG←100
  TV←20
  TVG←0.1
  TP←20
  TPG←0.1
  TW←20
  TWG←0.1
  PK←1
  HB←1575
  KII←2
  ...
  KE←1.1
  PK←5
  SPT←0.0036
  SWT←0.00015
  for DT∈0..t
    TW←TW+DT·TWG
    FP←FP+DT·FPG
    FW←FW+DT·FWG
    TP←TP+DT·TPG
    TV←TV+DT·TVG
    SP←SP+DT·SPG
    SPG←0.5·SPT·(TV+TP)
    SW←SW+DT·SWG
    SWG←0.5·SWT·(TW+TV)
    CPW←PK·KE·KII·HB·(SP+SW)
  CPW
  ...

```

Рис. 11. Программа расчета показателей системного комплекса

В имитационном режиме выполнена оценка динамики показателей системного комплекса (рис. 12). В качестве временного интервала прогноза выбран десятилетний период. Анализ динамики показателей указывает на их нелинейный рост. Например, масса углеводородов, испарившихся с поверхности почвы и акваторий, возрастает в несколько раз (рис. 12, а, б). Изменение площади загрязнений почв и водоемов также имеет тенденцию к возрастанию (рис. 12, в, г). При этом температуры воздуха, почвы и воды возрастают (рис. 12, д, е, ж).

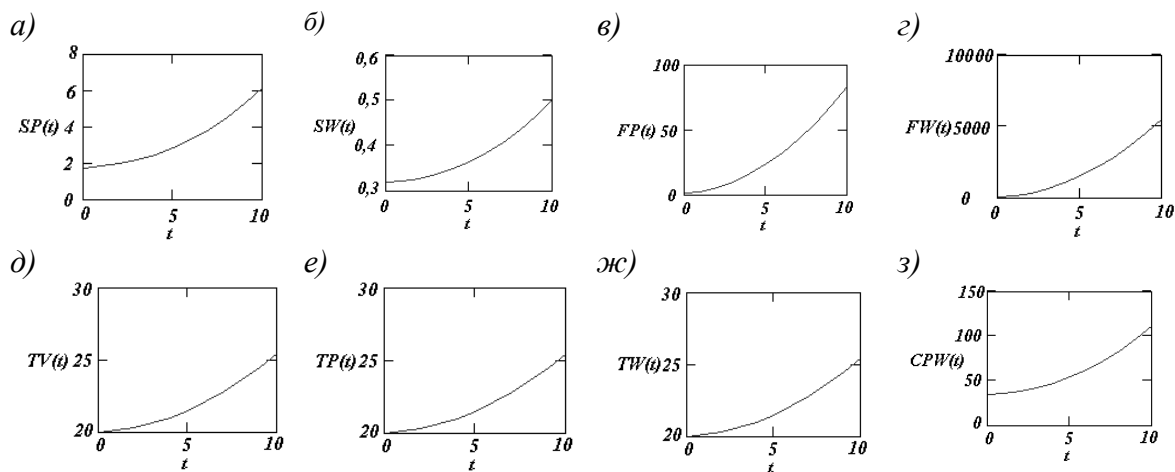


Рис. 12. Динамика массы углеводородов, $\text{кг}/\text{м}^2$ (а – испарившихся с поверхности почвы, б – испарившихся с поверхности водоемов, $\text{кг}/\text{м}^2$), площади загрязнения нефтепродуктами, м^2 (в – почв, г – акваторий), температуры, $^{\circ}\text{C}$ (д – воздуха, е – почвы; ж – воды), ущерба природной среде, р (з – от загрязнения атмосферы)

Указанные физические процессы осуществляются за счет положительных темпов роста их показателей.

Процессы загрязнения окружающей среды приводят к экономическому ущербу, определяемому затратами на ликвидацию последствий аварий нефтепроводов и разлива нефти. Экономический ущерб также является возрастающей во времени величиной (рис. 12, з).

Сбор нефти с поверхности реки при аварийных разливах. ВНИИСПТнефть разработан опытный образец нефтесборщика НВ-1 ТУ 39-1208-87, предназначенного для сбора нефти с поверхности воды при аварийных разливах на подводных переходах через судоходные реки [7].

При всех достоинствах нефтесборщика ВНИИСПТнефть для условий малых рек необходимо предусмотреть стационарные системы сбора нефти при аварийных разливах. Например, может быть предложено нефтесборное устройство на основе гибкой боновой системы с потокообразующими лопастями (рис. 13).

При образовании нефтяного пятна 1 приводные барабаны 7 приводятся во вращение. При этом рабочая ветвь гибкого бона 2 приходит в движение и с помощью системы потокообразующих лопастей 4, соединенных с гибким боном при помощи шарниров 5, возбуждает поток, увлекающий нефть к нефтезаборнику 9. Холостая ветвь гибкого бона 3 движется встречно рабочей ветви 2. На холостой ветви бона потокообразующие лопасти 4 примыкают к бону, обеспечивая снижение гидравлического сопротивления. Гибкий экран 6, закрепленный на гибком боне, обеспечивает предотвращение ухода нефти вниз по течению. Для удержания на поверхности воды ветвей гибкого бона 2, 3 использованы сферические емкости с запасом плавучести 10.

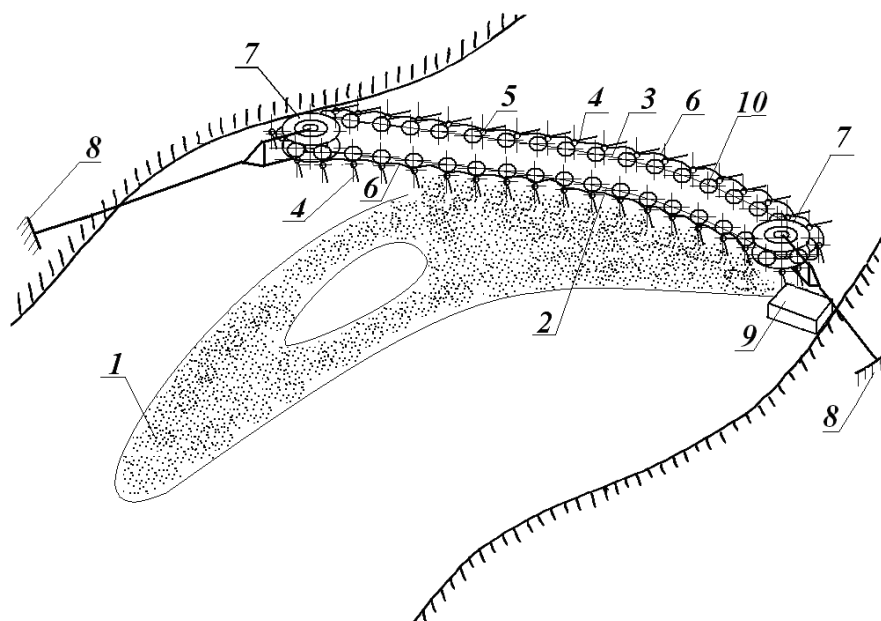


Рис. 13. Нефтеборное устройство:

- 1 – нефтяное пятно; 2 – рабочая ветвь гибкого бона; 3 – холостая ветвь гибкого бона;
4 – потокообразующая лопасть; 5 – шарнир раскрытия лопасти; 6 – гибкий экран;
7 – приводные барабаны; 8 – береговые опоры; 9 – нефтезаборник; 10 – плавучие буи

Выводы.

1. В математической постановке задачи одномерного приближения распространения загрязнения вдоль потока составлено уравнение математической физики гиперболического типа, которое решено методом конечных разностей и с применением методов прогонки типа Кранка-Николсона для устранения неустойчивости решения при изменении коэффициента турбулентной диффузии в широком диапазоне.

2. В работе последовательно решены задачи стационарной турбулентной диффузии на основе прямого аналитического решения и реализована процедура решения стационарного уравнения средствами прикладного программного пакета MathCad с помощью встроенной функции Odesolve.

3. В связи с отсутствием в литературе прикладного характера эффективных методов решения уравнений нестационарной турбулентной диффузии как загрязнений вызванных сбросами сточных вод, так и нефтепродуктами, в работе приведен пример вычислительной процедуры Кранка-Николсона, доведенный до численных результатов.

4. В связи с тем, что описанные физические модели не определяют характер изменения концентрации нефтяного загрязнения в зависимости от расстояния до створа выброса на природном фоне, в работу включена также программа решения задачи в указанных условиях.

5. Процесс окисления нефти в водотоке вызывает процессы интенсивного потребления растворенного в воде кислорода, поэтому решение задачи формирования кислородного баланса, описанное в работе дифференциальными уравнениями биохимической потребности в кислороде и концентрации растворенного кислорода, в одномерном приближении показывает динамику этих показателей во времени.

6. С практической точки зрения весьма полезным является решение задачи по вычислению расстояния от створа выброса нефти до створа максимального дефицита кислорода. Отмеченная задача также решена в работе в приближении равномерной и постоянной скорости течения.

7. Непосредственное применение параметров, определенных вышеперечисленными средствами, является затруднительным, поскольку ущерб, наносимый природной среде от загрязнения акватории почв, необходимо учитывать в комплексе взаимосвязанных влияющих факторов, поэтому в работе составлена, формализована и программно реализована системная динамическая модель оценки ущерба окружающей природной среде от загрязнения нефтепродуктами. В программе расчета показателей системного комплекса, реализованной в среде MathCad, определены экономические характеристики ущерба природной среде. Анализ динамики массы углеводородов в различных природных объектах показал относительно простой характер функций связи параметров модели со временем. Результаты тестирования модели свидетельствуют о негативном влиянии процессов загрязнения водотоков на их экологическое состояние.

8. В связи с вероятностным характером нарушения целостности трубопровода подводного перехода расположение вниз по течению относительно створа нефтесборщиков известных конструкций является малоцелесообразным. По этой причине на несудоходных реках незначительной ширины целесообразно устанавливать либо стационарные, либо нестационарные средства задержания и сбора нефти с поверхности воды при аварийных разливах. В работе предложена схема нефтесборного устройства динамического типа, представляющего потокообразователь с распределенными рабочими элементами.

По итогам выполненной работы можно сформулировать перспективные направления анализа процессов по предмету исследования. Прежде всего, следует разработать методы информационно-технологического обеспечения решения задач трехмерной турбулентной диффузии с краевыми условиями не только первого рода, но также с условиями второго и третьего рода. Существующие в настоящее время параметры оценки водотоков должны быть экспериментально изучены на предмет их применимости к характеру динамики загрязнения водотоков нефтепродуктами.

Список литературы

1. Методика определения ущерба, причиненного окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах. – М.: Минтопэнерго РФ, 1996. – 68 с.
2. Гросс, С.А. Определение расхода и времени вытекания жидкости из щели при разрыве стенки трубопровода / С.А. Гросс, Б.Г. Янов // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. – 1982. – № 11. – С. 9–10.
3. РД 39-0147098-005-88 «Правила охраны окружающей среды при сборе, подготовке и транспорте нефти». – Уфа: ВостНИИТБ, 1988. – 25 с.
4. Вознесенский, Г.Ф. К оценке содержания нефтепродуктов в речной воде при разливах на подводных переходах / Г.Ф. Вознесенский, И.А. Колосков // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. – 1979. – № 6. – С. 32 – 35.
5. Караушев, А.В. Практические рекомендации по расчету разбавления сточных вод в реках, озерах, водохранилищах / А.В. Караушев, А.Я. Шварцман, М.А. Бесценная. – Л.: ГГИ, 1973. – 101 с.
6. Родзиллер, И.Д. Научные и инженерные основы прогнозирования качества воды водоемов и их защита от загрязнения сточными водами / И.Д. Родзиллер. – М.: Наука, 1976. – 247 с.
7. Спиридонов, В.П. Технические средства предотвращения загрязнения водоемов нефтью / В.П. Спиридонов, И.Д. Черкасов. – М.: ЦБНИТИ Минречфлота, 1983. – 48 с.
8. Дмитриев, Ю.А. Математическое моделирование экологических систем: Учебное пособие / Ю.А. Дмитриев, А.Г. Поздеев. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1997. – 206 с.
9. Форрестер, Дж. Мировая динамика / Дж.Форрестер. – М.: Наука, 1978. – 167 с.
10. Семенов, М.Г. Математическое моделирование в MathCad / М.Г. Семенов. – М: Альтекс-А, 2003. – 208 с.
11. Мэтьюс, Д.Г. Численные методы. Использование MATLAB / Д.Г. Мэтьюс, Д.К. Финк. – Изд. 3. Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2001. – 720 с.
12. Методические рекомендации по определению платы за выбросы, сбросы, размещение загрязняющих веществ в природную среду. – М.: Минприроды РФ, 1993. – 56 с.

Статья поступила в редакцию 19.01.11.

*A. G. Pozdeev, Ju. A. Kuznetsova,
Yu. V. Loskutov, A. E. Trukhan*

ANALYSIS OF OIL-TRUNK PIPELINE UNDERWATER PASSAGES DESTRUCTION CONSEQUENCES AND THE INFLUENCE ON WATERWAY ECOLOGICAL STATE

The process of contaminated water dilution is considered and a model of oxygen balance of the basins, contaminated with oil emissions on the basis of system approach is composed. Oil pollution spreading in the waterway is estimated. A system model of assessment of damage to environment from oil products pollution is developed. In order to gather oil from a river surface in case of accidental spills, a skimmer construction design is offered.

Key words: ecological safety, system model, oil-trunk pipelines, underwater passages, skimmer.

ПОЗДЕЕВ Анатолий Геннадиевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водных ресурсов МарГТУ. Область научных интересов – проблемы водного транспорта и комплексного освоения водных ресурсов, математическое моделирование в гидродинамике и экологии. Автор более 60 публикаций.

E-mail: PozdeevA.G.@marstu.net

КУЗНЕЦОВА Юлия Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры водных ресурсов МарГТУ. Область научных интересов – исследование и моделирование русловых процессов в нижних бьефах гидроузлов, математическое моделирование в гидродинамике и экологии. Автор 14 публикаций, в том числе одной монографии и одного патента РФ.

E-mail: 2103Julia@mail.ru

ЛОСКУТОВ Юрий Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов и прикладной механики. Область научных интересов – механика конструкций и материалов, методы математического моделирования, системы автоматизированного проектирования (в машиностроении). Автор 25 публикаций, в том числе одной монографии.

E-mail: LoskutovYV@marstu.net

ТРУХАН Артем Евгеньевич – аспирант кафедры водных ресурсов МарГТУ. Область научных интересов – экологическое состояние водотоков и водоемов, технические средства мелиорации сплавных путей. Автор одной публикации.

E-mail: kvr@marstu.net

УДК 581:502

В. С. Воскресенский, О. Л. Воскресенская

ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ФЕРМЕНТОВ У ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Спектр проявления функциональной поливариантности древесных растений характеризуется изменением работы окислительно-восстановительных ферментов, при этом в условиях загрязнения городской среды уровень активности антиоксидантных ферментов носит специфический для каждого вида характер. Под влиянием негативных воздействий среды происходит активирование таких окислительно-восстановительных ферментов, как пероксидаза и полифенолоксидаза и снижение активности каталазы у всех изученных древесных растений, что говорит о большом разнообразии ферментативных систем растительных организмов, активно работающих в условиях антропогенного загрязнения.

Ключевые слова: *древесные растения, урбоэкология, антиоксидантная система, пероксидаза, каталаза, полифенолоксидаза, антропогенное загрязнение.*

Введение. Древесные растения широко используются в озеленении городов и являются наиболее чувствительными к изменению различных факторов среды и загрязнению воздуха [1, 2]. Нарушение их деятельности может быть обусловлено изменениями важнейших физиологических процессов фотосинтеза, дыхания, водного режима, минерального питания, устойчивости растений [3, 4]. В последние годы все более популярной становится гипотеза, согласно которой адаптация растений к действию стрессоров различной природы в значительной степени зависит как от функционирования антиоксидантных ферментов (пероксидазы, каталазы, СОД), так и от накопления в клетках низкомолекулярных антиоксидантов [5]. В ряде работ показано, что изменения активности антиоксидантных систем наблюдается в ответ на действие неблагоприятных факторов среды, таких как повышение концентрации тяжелых металлов в среде [6, 7] и загрязнение атмосферного воздуха [8, 9]. Несмотря на многочисленные исследования, посвященные изучению влияния техногенного стресса на функционирование антиоксидантной системы, до сих пор многие аспекты его влияния не ясны.

Проблема загрязнения воздуха в городах значительно обострилась в последнее десятилетие в результате интенсивного развития промышленности, энергетики и транспорта. Вредные вещества, попадающие в атмосферу от антропогенных источников, оседают на поверхности почвы, домов, растений, вымываются атмосферными осадками, переносятся на значительные расстояния ветром. В «Государственном докладе о состоянии окружающей природной среды Республики Марий Эл» отмечено, что на протяжении последних десяти лет в г. Йошкар-Оле прослеживается устойчивая тенденция увеличения доли выбросов от автотранспорта от 70 до 85 % в общей доле

загрязнения воздушного бассейна. Из более чем 200 загрязнителей атмосферного воздуха, на которые установлены нормы предельно допустимых концентраций, в атмосфере городов России имеется 5–6 веществ, которые определяют основной вклад в создание высокого уровня загрязнения. Из анализа наблюдений за загрязнением атмосферы г. Йошкар-Олы определен приоритетный перечень основных загрязняющих веществ: 1) твердые частицы (пыль, зола, сажа), 2) оксиды серы, 3) оксиды азота, 4) оксиды углерода [10].

Целью работы явилось выявление уровня активности компонентов окислительно-восстановительной системы древесных растений в условиях городской среды и возможность использования полученных показателей в качестве неспецифических индикаторов функционального состояния растительных организмов.

Объекты и методы. Объектами исследования были средневозрастные генеративные древесные растения: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.); береза повислая (*Betula pendula* Roth.); липа сердцевидная (*Tilia cordata* Mill.). Растения произрастали на территории г. Йошкар-Олы с разной степенью антропогенного загрязнения: 1) условно чистое местообитание (лесопарковая зона) – ООПТ «Сосновая роща»; 2) среднезагрязненный район (селитебная зона) – ул. Осипенко; 3) загрязненный район (промышленная зона) – ОАО «Марийский машиностроительный завод».

О состоянии урбанизированной среды судили по составу атмосферного воздуха, в пробах которого определяли концентрацию пыли, диоксидов азота и серы, оксида углерода [10]. Активность окислительно-восстановительных ферментов общей пероксидазы (КФ 1.11.1.7) и полифенолоксидазы (КФ 1.14.18.1) определяли спектрофотометрическим методом по А.Н. Бояркину, каталазы (КФ 1.11.1.6) – газометрическим методом [11]. Экспериментальный материал был обработан статистически, обработку данных проводили с помощью программы «STATISTICA».

Результаты и их обсуждение. В ходе нашей работы изучалась активность двух железосодержащих оксидаз (пероксидазы, каталазы) и медьсодержащей оксидазы (полифенолоксидазы), являющихся одними из наиболее чувствительных ферментов при воздействии на растения неблагоприятных факторов среды. Пероксидазы – обширная группа ферментов, катализирующих реакции окисления органического и неорганического субстрата с использованием пероксида водорода или органических пероксидов в качестве акцепторов электронов. Пероксидаза (КФ 1.11.1.7) – гем-содержащий белок, участвующий в утилизации пероксида водорода, катализирующий H_2O_2 -зависимое окисление широкого ряда субстратов. К важным функциям пероксидаз относится участие их в защите растения-хозяина от патогена, окисления фенолов до хинонов, а также образование супероксиданиона и пероксида водорода (оксидазная функция). Это, по-видимому, обеспечивает тончайшую самонастройку метаболизма в ходе онтогенеза и имеет особую значимость для растения в обеспечении быстрой приспособленности к постоянно меняющимся условиям внешней среды [4, 7].

Результаты работы по изучению активности пероксидазы в листьях (хвое) древесных растений, произраставших в условиях г. Йошкар-Олы (рис. 1), показали, что хвоя *P. sylvestris* характеризовалась достаточно высокими значениями активности данного фермента по сравнению с листьями *B. pendula* и *T. cordata*. Так, активность пероксидазы в хвое *P. sylvestris* была в 1,5 раза выше, чем в листьях *B. pendula* и почти в 3 раза выше, чем в ассимиляционных органах *T. cordata*.

Сравнивая районы г. Йошкар-Олы с различной интенсивностью загрязнения, следует отметить, что в хвое *P. sylvestris* наблюдается увеличение активности пероксидазы, начиная от лесопарковой зоны к промышленной зоне. В листьях *B. pendula* и

T. cordata также наиболее высокая активность пероксидазы отмечена в промышленной зоне города. Из всех исследуемых видов *P. sylvestris*, *B. pendula*, *T. cordata* в различных функциональных зонах г. Йошкар-Олы самая низкая ферментативная активность характерна для растений лесопарковой зоны города ($p < 0,001$).

Возможно, что на изменение активности пероксидазы оказали влияние загрязнители атмосферы. Под влиянием токсичных газов даже при невидимых повреждениях листьев происходит изменение активности ферментов. В.С. Николаевским [12] показано, что нарушения ферментативных систем более значимы у неустойчивых видов (к ним относится береза повислая), чем у устойчивых (клен ясенелистный) видов. Механизм токсического действия кислых газов на растения заключается в неспецифическом нарушении деятельности многих ферментов в клетках. В работах других исследователей [13] также показано, что промышленные кислые газы (как чистые, так и их смеси) вызывают достоверную активацию пероксидазы, причем смеси – более значительную, чем чистые газы. По мнению авторов, по изменению активности пероксидазы можно картировать зоны разного поражения древесных насаждений и, следовательно, определить долговременное действие различных уровней загрязнения воздуха промышленными токсикантами.

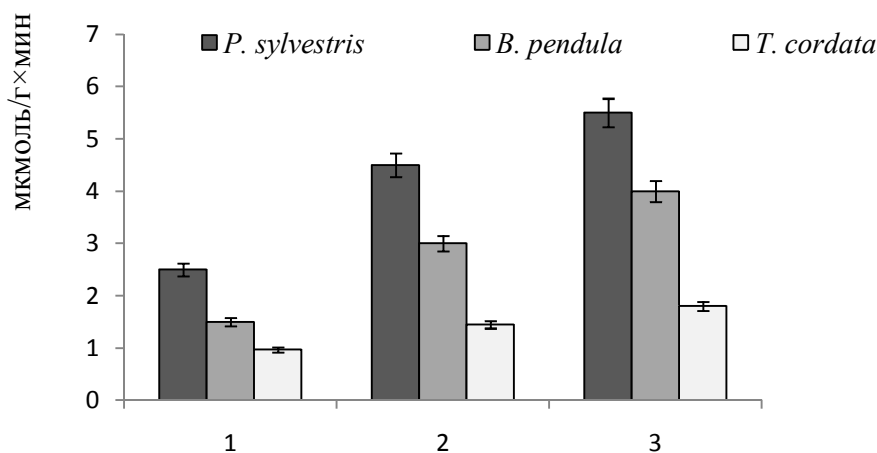


Рис. 1. Изменение активности пероксидазы в листьях (хвое) древесных растений:
1 – лесопарковая зона; 2 – жилательная зона; 3 – промышленная зона

Важная роль в обмене веществ отводится другому железосодержащему ферменту – каталазе (КФ 1.11.1.6), которая широко распространена в растениях. Активность каталазы связана в основном с митохондриями, цитоплазмой и пероксисомами. В окисленном состоянии каталаза может работать как пероксидаза, катализируя окисление спиртов или альдегидов, т.е. каталаза также проявляет умеренную пероксидазную активность. Нами была рассмотрена динамика изменения активности каталазы у древесных растений во времени. Как видно из рис. 2, при пятиминутной экспозиции в хвое *P. sylvestris* происходило постепенное увеличение активности фермента и к концу наблюдений (5 минут) активность каталазы была равна 7,3 мкмоль O_2 /г мин. Это были самые низкие значения по сравнению с другими исследуемыми видами. В среднем за каждую минуту наблюдений происходило увеличение ферментативной активности на 1,2 мкмоль O_2 /г мин и к концу эксперимента отмечалась тенденция выхода на плато.

В листьях *B. pendula* активность каталазы постепенно возрастала и к концу пятиминутной экспозиции составила 14,8 мкмоль O_2 /г мин. В среднем скорость работы фермента, начиная с 1 до 5 минут, изменялась следующим образом:

4,8→4,2→3,7→3,3→2,9. Таким образом, происходило постепенное снижение активности работы каталазы, что наблюдалось по уменьшению количества выделяемого молекулярного кислорода. Самая высокая активность каталазы была характерна для листьев *T. cordata*, которая после 5 минут экспозиции была равна 19,3 мкмоль O_2 /г мин. Сравнивая все три изученных вида древесных растений, можно сказать, что ферментативная активность (при пятиминутной экспозиции) в листьях *T. cordata* была в 2,0 раза выше, чем у *B. pendula*, в 2,5 раза выше, чем в хвое *P. sylvestris*.

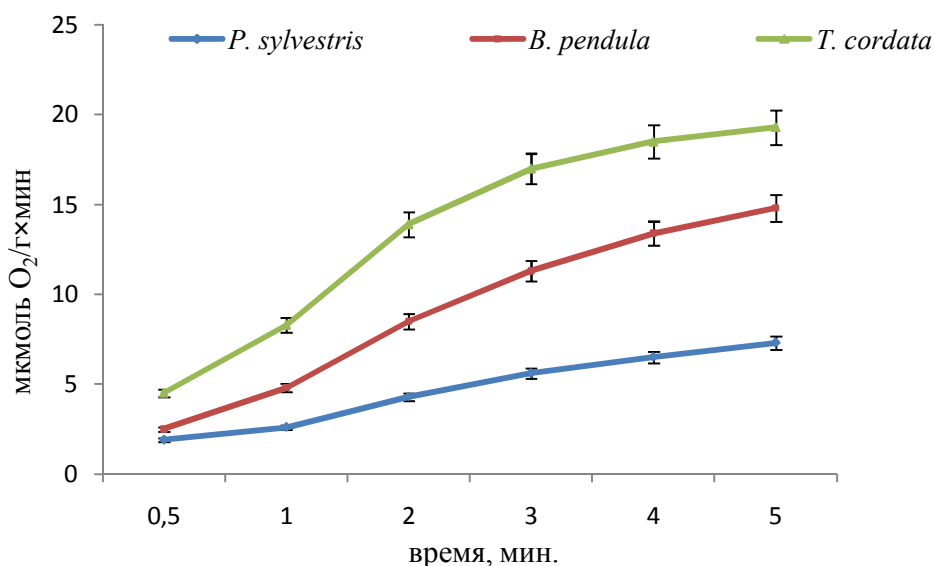


Рис. 2. Динамика изменения активности каталазы

Наблюдения за изменением активности фермента каталазы у древесных растений, в зависимости от места произрастания, показали (рис. 3), что в хвое *P. sylvestris* наиболее высокая активность фермента отмечается в лесопарковой зоне (7,3 мкмоль O_2 /г мин). У особей данного вида, произраставших в селитебной и промышленной зонах города, статистически достоверных отличий по изменению активности каталазы не обнаружено. У *B. pendula* наблюдалось снижение активности фермента у особей, произраставших в более загрязненных районах, в 1,3 раза по сравнению с лесопарковой зоной г. Йошкар-Олы, $p < 0,001$. Активность каталазы в листьях *T. cordata* была самой высокой из всех изученных видов растений (21,6 мкмоль O_2 /г мин – лесопарковая зона) и уменьшалась в зависимости от степени загрязнения района исследований (до 16,6 мкмоль O_2 /г мин – промышленная зона).

Сравнивая специфику работы фермента в зависимости от особенностей вида, можно сказать, что самая низкая активность фермента каталазы была характерна для хвои *P. sylvestris*. Одновременно, как было показано нами ранее (см. рис. 1), самая высокая активность другого железосодержащего фермента – пероксидазы была характерна также для данного вида. В листьях *B. pendula* и *T. cordata* активность каталазы была в среднем в 3,5 раза выше, чем в хвое *P. sylvestris*.

Таким образом, как показали результаты работы, под влиянием негативных воздействий среды происходит снижение активности каталазы (см. рис. 3) и одновременное увеличение активности пероксидазы (см. рис. 1) – ключевых ферментов в формировании и развитии защитных реакций в растительной клетке, обеспечивающих нормальный ход окислительных процессов.

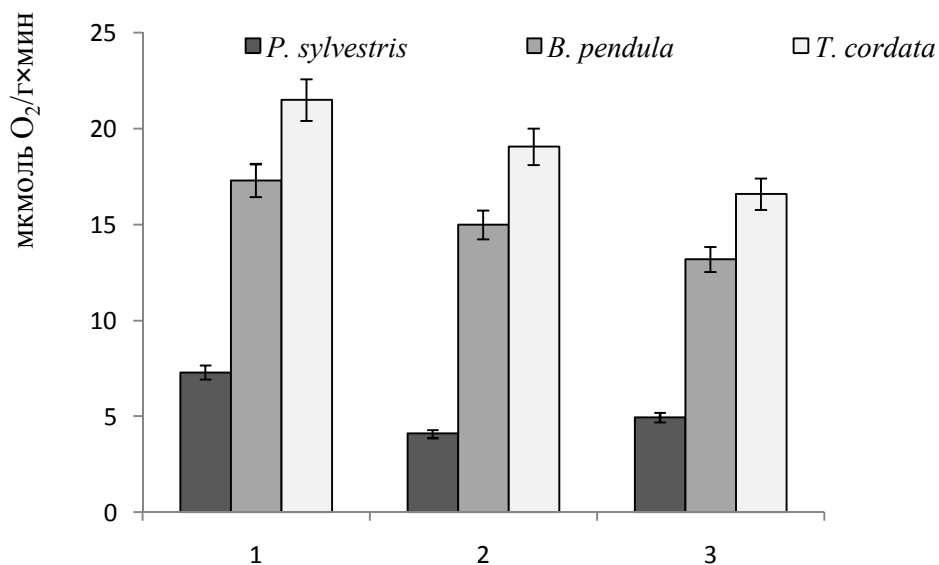


Рис. 3. Изменение активности каталазы в листьях (хвое) древесных растений:
1 – лесопарковая зона; 2 – селитебная зона; 3 – промышленная зона

Известно, что одним из факторов устойчивости растений в условиях техногенного стресса является нормальное или повышенное образование в них веществ, входящих в состав антиоксидантной системы. Показано [8], что в условиях техногенного загрязнения у древесных растений преобразуется активность ключевых антиоксидантных ферментов (каталазы, пероксидазы). Т.А. Михайловой [14] на примере лиственницы европейской, сосны обыкновенной и ели сибирской было показано, что при сильном поражении фтористыми соединениями происходит значительное повышение пероксидазной активности в хвое изученных видов: для лиственницы европейской – в 5 раз, а для ели сибирской и сосны обыкновенной – в 1,7–2 раза.

Таким образом, можно предположить, что одним из важнейших механизмов адаптации растений к меняющейся напряженности факторов среды является изменение активности ряда ферментативных систем. По мере увеличения антропогенного загрязнения окружающей среды происходило увеличение активности фермента пероксидазы у всех исследуемых видов, одновременно наблюдалось снижение активности каталазы. При этом наблюдаются специфические видовые особенности изменения активности железосодержащих оксидаз. Так, для хвои *P. sylvestris* была характерна высокая активность пероксидазы и низкая активность каталазы по сравнению с другими исследуемыми древесными растениями (*B. pendula* и *T. cordata*).

Немаловажное значение в регуляции окислительных процессов отводится медьсодержащему ферменту полифенолоксидазе (КФ 1.14.18.1). Данный фермент не входит в состав антиоксидантной системы, но его роль в ответных реакциях на неблагоприятные условия произрастания растений неоспорима. Многочисленные данные свидетельствуют [15, 16], что в стрессовых условиях (при радиоактивном облучении, избытке тяжелых металлов, изменении химического состава окружающей среды) активность полифенолоксидазы возрастает.

В условиях г. Йошкар-Олы (рис. 4) наблюдалась следующая закономерность – активность фермента полифенолоксидазы у всех древесных растений увеличивалась в направлении от лесопарковой зоны к промышленной зоне. При этом отмечаются специфические особенности вида, наиболее низкая активность фермента была обнаружена

в хвое *P. sylvestris*, в среднем в два раза ниже, чем в листьях *B. pendula* и *T. cordata*. Наиболее высокая активность полифенолоксидазы была характерна для *B. pendula* и колебалась от 1,1 до 1,5 мкмоль/г мин.

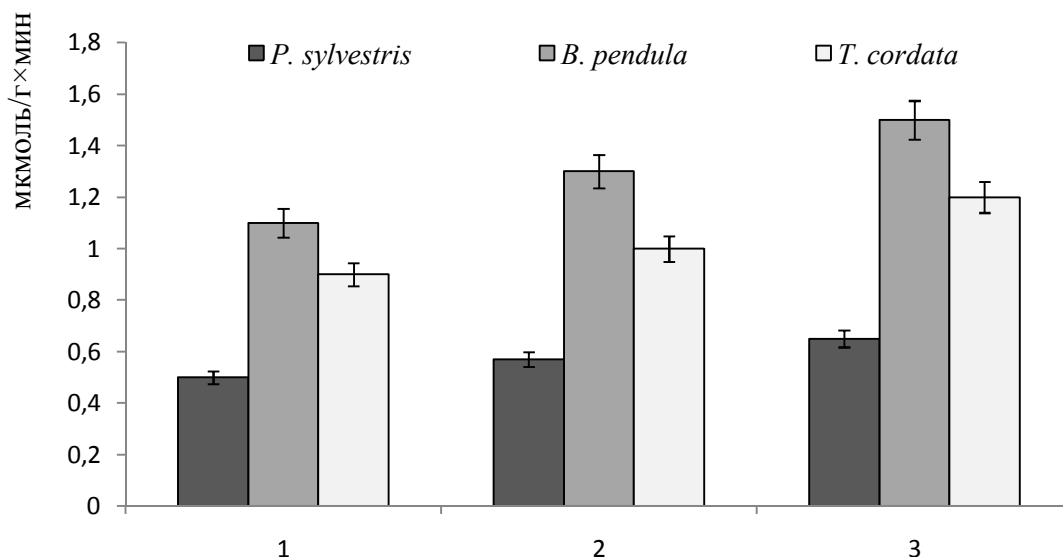


Рис. 4. Изменение активности полифенолоксидазы в листьях (хвое) древесных растений:
1 – лесопарковая зона; 2 – селитебная зона; 3 – промышленная зона

В процессе роста древесных растений в условиях городской среды наблюдалась сходная закономерность: активность медьсодержащего фермента была выше в промышленной зоне города. В литературе высказывается предположение, что действие пероксидазы и полифенолоксидазы, ответственных за окисление фенольных соединений, функционально сопряжены. Это, по-видимому, объясняется тем, что основным местом синтеза фенольных соединений, с образованием которых связана деятельность данных ферментов, являются молодые ткани растений [17].

Выводы.

У древесных растений, произрастающих в условиях городской среды, обнаружен «эффект пероксидазы» [18], т.е. увеличение активности железосодержащего фермента пероксидазы в зонах наибольшего промышленного загрязнения.

Пики наибольшей активности другого железосодержащего фермента каталазы отмечались у исследуемых растений в лесопарковой зоне города. В то же время пик активности медьсодержащего фермента полифенолоксидазы у исследуемых древесных растений приходился также на промышленную зону. По-видимому, колебательный характер изменения пероксидазной (полифенолоксидазной) и каталазной активности у древесных растений объясняется увеличением активности одних ферментов, сопровождающимся одновременно снижением работы других окислительно-восстановительных систем. Результаты нашей работы показали, что увеличение активности железосодержащего фермента пероксидазы и медьсодержащего фермента – полифенолоксидазы сопровождается одновременным уменьшением активности каталазы.

Возможно, в процессе роста древесных растений в условиях городской среды происходит смена дыхательных систем. Изменение доли вклада в общий дыхательный метаболизм различных ферментативных комплексов и перестройка систем дыхания имеют большое адаптационное значение. Следовательно, полифункциональность ферментативных систем проявляется в наличии нескольких ферментов, выполняющих одну и

ту же каталитическую функцию, – весьма ценное свойство, расширяющее адаптационные возможности организма при произрастании в условиях загрязнения среды. Все эти подходы, направленные на повышение активности антиоксидантных ферментов, в конечном счете, приводят к усилению защиты от окислительного стресса и на этой основе – к более высокой резистентности растений к абиотическим факторам городской среды.

Список литературы

1. Крамер, П.Д. Физиология древесных растений / П.Д. Крамер, Т.Т. Козловский. – М.: Лесная промышленность, 1983. – 464 с.
2. Николаевский, В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации / В.С. Николаевский. – М.: МГУЛ, 1999. – 193 с.
3. Воскресенская, О.Л. Проблемы урбоэкологии и пути их решения в современных российских городах / О.Л. Воскресенская, Е.В. Сарбаева, В.С. Воскресенский // «Наука и инновации – 2010», пятая международная школа ISS «SI – 2010», пятый международный научный семинар «Фундаментальные исследования и инновации». – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2010. – С. 417–422.
4. Неверова, О.А. Применение фитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды / О.А. Неверова // Биофизика. – 2010. – Т. 1. – № 1. – С. 82–92.
5. Cheeseman, J.M. Hydrogen Peroxide and Plant Stress: A Challenging Relationship / J.M. Cheeseman // Plant Stress / Global Sci. Books. – 2007. – №3. – P. 4–15.
6. Воскресенская, О.Л. Влияние избытка цинка на накопление железа и активность железосодержащих ферментов у овса / О.Л. Воскресенская, И.А. Чернавина, В.А. Аксенова // Физиология растений. – 1986. – Т. 33. – Вып. 6. – С. 1056–1060.
7. Башмаков, Д.И. Эколого-физиологические аспекты аккумуляции и распределения тяжелых металлов у высших растений / Д.И. Башмаков, А.С. Лукаткин. – Саранск: изд-во Мордов. ун-та, 2009. – 236 с.
8. Гарифзянов, А.Р. Роль низкомолекулярных антиоксидантов в устойчивости древесных растений в техногенно загрязненной среде / А.Р. Гарифзянов, С.В. Горелова, В.В. Иванищев // Аграрная Россия. Спец. вып.: материалы междунар. научно.-практ. конф. «Актуальные проблемы дендрологии и адаптации растений». – М.: Лесная промышленность, 2009. – С. 116–118.
9. Alscher, R.G. Reactive oxygen species and antioxidant: relationships in green cells / R.G. Alscher, J.L. Donahue, C.L. Cramer // Physiol. Plantarum. – 1997. – Vol. 100. – № 2. – P. 224–233.
10. Ведение мониторинга атмосферного воздуха на территории города Йошкар-Олы за 2009 год: информ. отчет / ГУП ТЦ «Маргеомониторинг». – Йошкар-Ола, 2009. – 43 с.
11. Prasad, K.V.S.K. Concerted Action of Antioxidant Enzymes and Curtailed Growth under Zinc Toxicity in *Brassica juncea* / K.V.S.K. Prasad, P.P. Saradhi, P. Sharmila // Environ. Exp. Bot. – 1999. – Vol. 42. – P. 1–10.
12. Николаевский, В.С. Биологические основы газоустойчивости растений / В.С. Николаевский. – Новосибирск: Наука, 1979. – 280 с.
13. Неверова, О.А. Использование активности пероксидазы для оценки физиологического состояния древесных растений и качества атмосферного воздуха г. Кемерово / О.А. Неверова // Сибирский бот. журн. – 2001. – № 2. – С. 122–128.
14. Михайлова, Т.А. Эколого-физиологическое состояние лесов, загрязненных промышленными эмиссиями: автореф. дис... д-ра биол. наук / Т.А. Михайлова. – Иркутск: Иркутский пед. ин-т, 1996. – 20 с.
15. Рачковская, М.М. Изменение активности некоторых оксидаз как показатель адаптации растений к условиям промышленного загрязнения / М.М. Рачковская, Л.О. Ким // Газоустойчивость растений. – Новосибирск: Наука, 1980. – С. 117–126.
16. Siess, H. Antioxidant Functions of Vitamins – Vitamin E and Vitamin C, β -Carotene, and other Carotenoids and Intercellular Communication via Gap Junctions / H. Siess, W. Stahl // Int. J. Vitam. Nutr. Res. – 1997. – Vol. 67. – P. 364–367.
17. Запрометов, М.Н. Фенольные соединения. Распространение, метаболизм и их функции в растениях / М.Н. Запрометов. – М.: Наука, 1993. – 272 с.
18. Николаевский, В.С. Эколого-физиологические основы газоустойчивости растений / В.С. Николаевский. – М.: МГУЛ, 1989. – 65 с.

Статья поступила в редакцию 19.02.11.

Работа выполнена в рамках задания Федерального агентства по образованию «Исследование состояния и динамики популяций растений и животных».

V. S. Voskressensky, O. L. Voskressenskaya**REDOX ENZYMES ACTIVITY CHANGES IN WOODY PLANTS
IN THE URBAN ENVIRONMENT**

The spectrum of woody plants functional multiplicity manifestations is characterized with a change of redox enzymes work, while in terms of urban pollution the level of antioxidant enzymes activity is a specific one for each type. Under the environmental negative effects influence, there is some activation of such redox enzymes as peroxidase and polyphenol oxidase and catalase activity decrease in all the studied woody plants; it indicates a wide variety of enzyme systems of plant bodies that are active in anthropogenic pollution conditions.

Key words: woody plants, urboecology, antioxidant system, peroxidase, catalase, polyphenol oxidase, anthropogenic pollution.

ВОСКРЕСЕНСКИЙ Владимир Станиславович – старший преподаватель кафедры экологии Марийского госуниверситета. Область научных интересов – древесные растения, радиоактивные элементы, тяжелые металлы, урбоэкология. Автор 17 публикаций.

E-mail: voskres2006@rambler.ru

ВОСКРЕСЕНСКАЯ Ольга Леонидовна – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой экологии Марийского госуниверситета. Область научных интересов – экологическая физиология растений, антропогенное загрязнение городской среды, онтогенез растений, общая экология. Автор более 130 публикаций, в том числе четырех монографий.

E-mail: voskres2006@rambler.ru

УДК 532.5.013.12

*А. Г. Поздеев, И. А. Полянин,
Е. М. Царев, Ю. А. Кузнецова*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СРЕДСТВ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБУСТРОЙСТВА ВОДОХРАНИЛИЩ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Объектом исследования является запань для удержания плавающего леса от поступления к гидроузлу при большой ширине водохранилища. Разработаны методы статического и динамического расчетов наплавных сооружений и лежня запани с общих позиций теоретической механики. В результате получена методика расчета запаней для экологической защиты водохранилищ ГЭС от негативного влияния древесного плавника.

Ключевые слова: водохранилище, ГЭС, древесный плавник, запань, наплавные сооружения, экологическая защита, ветровые, волновые и ударные нагрузки.

Введение. Проектирование лесозадерживающих и иных наплавных сооружений на лесосплаве в традиционных условиях основано на нормативных документах [1] и подробно рассмотрено в расчетных методиках [2] и литературе по водному транспорту леса [3].

Вопросы проектирования наплавных сооружений нашли отражение в работах С. Х. Будыки, Ю. Я. Дмитриева, И. П. Донского, С. Я. Мучника, В. И. Пятякина, К. А. Чекалкина. Однако при исходных данных, превышающих по отдельным значениям предусмотренные нормативными документами диапазоны, создание новых расчетных методик для запаней, работающих в условиях водохранилищ ГЭС, является актуальной задачей [4].

Объектом исследования, рассматриваемым в настоящей работе, является, прежде всего, расчет запани для удержания плавающих лесоматериалов от поступления их к гидроузлу ГЭС при ширине водохранилища, превышающей сотни метров [1, 4].

Целью работы является совершенствование методов статического и динамического расчетов наплавных сооружений и лежня лесозащитной запани, предназначенной для инженерно-экологической защиты водохранилища ГЭС.

В работе выполнены исследования запани и ее элементов на основе уравнений равновесия силовых факторов при статическом и динамическом внешнем воздействии [5]. Для решения поставленных задач использованы методы теории многомерных колебаний.

Представление о лежне запани в виде гибкой нити, имеющей при равномерно распределенной нагрузке форму цепной линии, является хорошо изученным [6] и поэтому используется нами без подробного обоснования.

Решаемые задачи:

1) составить уравнения равновесия плавучих сооружений на канатных опорах при наличии плоскостей симметрии для системы невзаимодействующих объектов;

2) вывести уравнения динамики плавучих объектов с канатными опорами в общем случае и для частных видов колебаний;

3) разработать методику расчета наплавных сооружений запани на канатных опорах.

Внешние силовые факторы, действующие на лесозащитные запани ГЭС.

Ветровые нагрузки. Основным видом статического воздействия на запань является влекущая сила ветра, действующая на пыж из плавниковой древесины. Методы определения этого типа нагрузки даны, например, в инструкции по изысканиям, проектированию, строительству, монтажу и эксплуатации запаней [1].

Атмосферные воздействия приводят к генерации волн, барометрическому и ветровому уклону поверхности водохранилища, а также к дрейфовым течениям, направленным под углом 45° к направлению ветра. Направление и скорость дрейфового течения зависят от глубины, поверхностные течения могут не совпадать по направлению с ветром.

Волновые нагрузки. Сложность волнового воздействия на плавучий объект требует разделения волновых режимов по следующим критериям [6]: $d/\lambda > 1$ – полное отражение волн; $d/\lambda > 2$ – преимущественное влияние дифракции; $d/\lambda < 2$ – малое влияние дифракции; $d/h_0 > 2$ – инерционная составляющая волновой нагрузки становится доминирующей; $d/h_0 < 2$ – преобладает скоростная составляющая волновой нагрузки, где d – характерный линейный размер плавучего объекта; λ – длина волны; h_0 – параметр ширины орбиты волны.

Оценка волнового режима водохранилищ и, в частности, водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС, позволяет заключить, что $d/\lambda > 1$ и $d/h_0 > 2$ являются наиболее распространенными условиями волнового воздействия на плавучий объект. При этом резко возрастают возмущения, вызываемые объектами в потоке воды. Это приводит к образованию значительных инерционных нагрузок на плавучие объекты. При расчетах это обстоятельство позволяет пренебречь вязкостью.

При синусоидальной линейной волне выражение для вертикальных сил, действующих на плавающий объект, имеет вид [6]

$$P_z(t) = \frac{\rho g h_0 L}{k} [\sin(kL - pt) + \sin \omega t], \quad (1)$$

где $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число; λ – длина волны; L – длина сооружения; $\omega = 2\pi/T$ – круговая частота синусоидальной линейной волны; T – период линейной волны.

Сила, приходящаяся на поверхность преграды, равна величине изменения кинетической энергии за период ее действия. Динамическое давление на преграду равно

$$p_x \approx \rho V_e^2 = \rho g h_e, \quad (2)$$

где V_e – скорость распространения волны; h_e – невозмущенная глубина воды.

Характер расположения лежня при статическом воздействии на плавучие сооружения. Нагрузки, действующие на плавучие объекты запани, передаются на береговые опоры через канаты лежня. Вертикальные нагрузки уравниваются силой водоизмещения корпусов плавучих объектов. Боковые нагрузки в горизонтальном направлении обусловлены действием ветра, течений, волн и льда. В дальнейшем место первоначального контакта каната с корпусом плавучего объекта будем именовать канатной опорой. При расчетах следует различать первоначальное и рабочее состояние системы «канат – плавучие объекты» [6]. Под первоначальным понимается состояние системы до воздействия внешних сил, а под рабочими – состояния при действии внешних нагрузок на объект.

Расположение лежня подчиняется закону цепной линии, поэтому введем следующие обозначения: x_0, y_0 – координаты точек цепной линии; a – параметр цепной линии; q – сила нагрузки на единицу длины цепи; η, ζ – горизонтальная и вертикальная проекции провеса цепной линии; H – горизонтальная составляющая натяжения каната; S – длина цепной линии (AB) от нижней ее точки; $T(y_0)$ – полное натяжение каната в точке с ординатой y_0 ; T – полное натяжение в цепной опоре (точка A); $\alpha(x)$ – углы наклона касательных в точках цепных линий к горизонту (рис. 1).

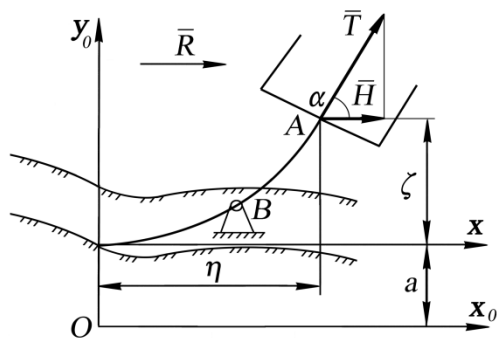


Рис. 1. Схема равновесия участка цепной линии

Уравнение цепной линии имеет вид $y_0 = ach \frac{x_0}{a}$, (3)

где обозначено $a = \frac{H}{q}$; $H = qa$; $T = q(a + \zeta)$; $T(y_0) = qy_0$; $S = ash \frac{\eta}{a}$; $S(x_0) = ash \frac{x_0}{a}$;

$$\cos \alpha = \frac{H}{T}; \quad \operatorname{tg} \alpha(x_0) = \frac{dy}{dx_0} = sh \frac{x_0}{a}.$$

Горизонтальные составляющие натяжения постоянны во всех поперечных сечениях каната

$$H = qa = \text{const}. \quad (4)$$

Введем понятие коэффициента жесткости опоры как силы, приложенной к опоре и вызывающей единичное смещение опоры по принятому направлению.

Уравнения равновесия плавучего сооружения на канатных опорах. Начало осей координат отдельного плавучего объекта выбираем в точке C , не обязательно совпадающей с центром его тяжести (рис. 2). Деформации корпуса малы по сравнению с перемещениями объекта, обусловленными канатными опорами. Ключевые точки соединения корпуса объекта с канатными связями считаем шарнирными. Канаты считаем упругими связями, соединяющими плавучий объект с береговыми опорами.

Коэффициенты жесткости опоры определяются как величина приложенной к опоре силы, вызывающей единичное смещение опоры по какому-либо направлению.

Для j -го тела при наличии i канатных опор ($i = 1, 2$) каждая i -я опора характеризуется матрицей коэффициентов жесткости опоры:

$$\begin{vmatrix} K_{xxi} & K_{yxi} \\ K_{xyi} & K_{yyi} \end{vmatrix}. \quad (5)$$

Каждый из этих коэффициентов жесткостей вида K_{mni} представляет собой величину силы, приложенной к i -й опоре в направлении оси n и вызывающей смещение каната в направлении оси m . Имеет место свойство взаимности, которое для системы ко-

ординат, связанной с i -й опорой, запишется K_{xyi} , поэтому матрица коэффициентов жесткости будет симметричной относительно диагональных элементов

$$\begin{vmatrix} K_{xxi} & K_{xyi} \\ K_{xyi} & K_{yyi} \end{vmatrix}. \quad (6)$$

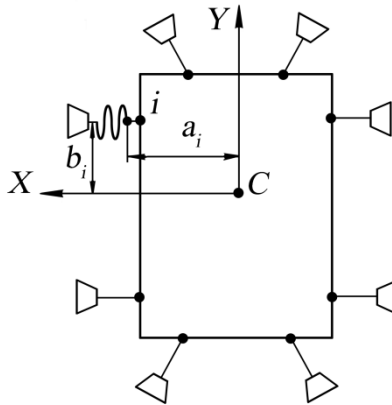


Рис. 2. Расчетная схема плавучего объекта с канатными опорами в плане

Итак, каждая i -я опора характеризуется тремя коэффициентами K_{xxi} , K_{xyi} , K_{yyi} .

Можно ввести также некоторую матрицу положений $\beta_{i,j}$, характеризующую в безразмерной форме i -ю опору каждого из j плавучих объектов. Матрица $\beta_{i,j}$ будет зависеть от трех координат, но в случае малых погружений объектов, по сравнению с плановыми смещениями, она есть функция координат x, y .

Вводя обозначения: x, y – координаты объекта; u, v – проекции перемещения произвольной точки тела с координатами x, y на оси X, Y ; φ – угол поворота в плане относительно точки C ; a_i, b_i – координаты точки i -й опоры объекта; a_0, b_0 – координаты точки O – центра тяжести площади ватерлинии; P_x, P_y – проекции внешних статических сил; M – момент относительно точки C , который положителен при вращении против часовой стрелки, если смотреть сверху на объект.

Уравнения

$$\begin{cases} u = u_C - y\varphi; \\ v = v_C + x\varphi; \end{cases} \quad (7)$$

определяют проекции u и v перемещения произвольной точки тела с координатами x, y .

Проекции перемещения опор тела будут

$$\begin{cases} u_i = u_C - b_i\varphi; \\ v_i = v_C + a_i\varphi. \end{cases} \quad (8)$$

Проекции перемещения центра тяжести площади ватерлинии имеют вид:

$$\begin{cases} u_0 = u_C - b_0\varphi; \\ v_0 = v_C + a_0\varphi. \end{cases} \quad (9)$$

Потенциальная энергия U для всего сооружения в целом равна сумме энергии деформаций канатных связей и энергии, затрачиваемой на преодоление сопротивления (восстанавливающего воздействия) воды и может быть записана в виде

$$U = \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^2 K_{xxi} (u_C - b_i \varphi)^2 + \sum_{i=1}^2 K_{yyi} (u_C - a_i \varphi)^2 \right) + \sum_{i=1}^2 K_{xyi} (u_C - b_i \varphi) \cdot (u_C - a_i \varphi), \quad (10)$$

где суммирование производится по двум опорам.

Для частных производных можно записать

$$\frac{\partial U}{\partial u_C} = P_x; \quad \frac{\partial U}{\partial v_C} = P_y; \quad \frac{\partial U}{\partial \varphi} = M. \quad (11)$$

Общие уравнения равновесия плавучего объекта с канатными опорами при трех степенях свободы будут:

$$K_{11}u_C + K_{12}v_C + K_{13}\varphi = P_x; \quad K_{21}u_C + K_{22}v_C + K_{23}\varphi = P_y; \quad K_{31}u_C + K_{32}v_C + K_{33}\varphi = M. \quad (12)$$

Коэффициенты $K_{11} \dots, K_{33}$ называются характеристиками жесткости и связаны с коэффициентами жесткостей объекта формулами:

$$K_{11} = K^{xx}; \quad K_{22} = K^{yy}; \quad K_{33} = K_{bb}^{xx} + K_{bb}^{yy} - 2K_{ab}^{xy}; \quad K_{12} = K_{21} = K^{xy}; \\ K_{13} = K_{31} = K_a^{xy} - K_a^{xx}; \quad K_{23} = K_{32} = K_a^{xy} - K_a^{yy}. \quad (13)$$

Коэффициенты жесткостей объекта связаны с коэффициентами жесткостей опор и коэффициентами a_i, b_i опор по выражениям:

$$K^{xx} = \sum_{i=1}^2 K_{xxi}; \quad K^{yy} = \sum_{i=1}^2 K_{yyi}; \quad K^{xy} = \sum_{i=1}^2 K_{xyi}; \quad K_b^{xx} = \sum_{i=1}^2 K_{xxi} b_i; \quad K_a^{yy} = \sum_{i=1}^2 K_{yyi} a_i; \\ K_{bb}^{xx} = \sum_{i=1}^2 K_{xxi} b_i^2; \quad K_{aa}^{yy} = \sum_{i=1}^2 K_{yyi} a_i^2; \quad K_a^{xy} = \sum_{i=1}^2 K_{xyi} a_i; \quad K_b^{xy} = \sum_{i=1}^2 K_{xyi} b_i; \quad K_{ab}^{xy} = \sum_{i=1}^2 K_{xyi} a_i b_i. \quad (14)$$

Отсюда следует, что выбором положения начала осей координат можно упростить систему уравнений, добившись значений

$$K_{13} = K_{31} = 0 \quad \text{или} \quad K_{23} = K_{32} = 0. \quad (15)$$

Приравнявая к нулю одну из групп коэффициентов, можно найти формулы для определения формул для координат x_0, y_0 , определяющих положение точки C , являющейся в этом случае началом координат основной системы осей XU .

Статические уравнения равновесия при наличии плоскостей симметрии. Воспользуемся в рассматриваемом случае наличием плоскостей симметрии, предварительно обобщив систему уравнений на трехмерный случай.

Плавучий объект, как и всякое плавающее тело, имеет опору, вызванную восстаивающим действием воды. Коэффициенты жесткостей зависят при этом от величин площадей ватерлиний S и величин моментов инерции J площадей ватерлиний. Роль коэффициентов жесткости в вертикальном направлении играют величины γS , а при поворотах – величины γJ , где $\gamma = \rho g$ – объемный вес жидкости.

Определение коэффициентов жесткости. Если опоры присоединяются под углами β_{ij} к оси X , то величины коэффициентов жесткости связаны с коэффициентами, определенными для присоединения опор в направлении оси Y некоторыми зависимостями.

Смещения u_i и v_i вызвали бы в опоре, направленной по оси Y , усилия P_{xi} и P_{yi} . Рассматривая составляющие P'_{xi} и P'_{yi} в повернутой системе $X'Y'$, запишем уравнения связи составляющих сил:

$$P'_{xi} = P_{xi} \cos \beta_{i,j} + P_{yi} \sin \beta_{i,j}; \quad P'_{yi} = -P_{xi} \sin \beta_{i,j} + P_{yi} \cos \beta_{i,j}. \quad (16)$$

Вызывающие реакции смещения в обеих системах координат одинаковы и равны u_i и v_i , поэтому для коэффициентов жесткости имеем выражения:

$$\begin{aligned} K_{xxi} &= K_{xx} \cos \beta_{i,j} + K_{xy} \sin \beta_{i,j}; \quad K_{yyi} = -K_{xx} \sin \beta_{i,j} + K_{yy} \cos \beta_{i,j}; \\ K_{xyi} &= K_{xy} \cos \beta_{i,j} + K_{yy} \sin \beta_{i,j}. \end{aligned} \quad (17)$$

В общем случае пространственной задачи можно ввести также коэффициенты жесткости K_{zzi} ; K_{xzi} ; K_{yzi} , определяемые в виде:

$$\begin{aligned} K_{zzi} &= K_{zz} = K_{xx}; \quad K_{xzi} = K_{xz} \cos \beta_{i,j} + K_{yz} \sin \beta_{i,j} = K_{xx} \cos \beta_{i,j} + K_{xy} \sin \beta_{i,j}; \\ K_{yzi} &= K_{xz} \sin \beta_{i,j} + K_{yz} \cos \beta_{i,j} = -K_{xx} \sin \beta_{i,j} + K_{xy} \cos \beta_{i,j}. \end{aligned} \quad (18)$$

Введенные обозначения для последней системы уравнений имеют значения:

$$\begin{aligned} \Omega_x &= K_{CC}^{yy} + K_{bb}^{zz} - 2K_{bc}^{yz} + \gamma J_{0x}; \quad \Omega_y = K_{CC}^{xx} + K_{aa}^{zz} - 2K_{ac}^{yz} + \gamma S a_0^2 + \gamma J_{0y}; \\ \Omega_z &= K_{aa}^{yy} + K_{bb}^{xx} - 2K_{ab}^{xy}; \end{aligned}$$

$$K^{xx} = \sum_{i=1}^n (K_{xx} \cos \beta_{i,j} + K_{xy} \sin \beta_{i,j}); \quad K^{yy} = \sum_{i=1}^n (-K_{xy} \sin \beta_{i,j} + K_{yy} \cos \beta_{i,j}); \quad K^{zz} = nK_{xx};$$

$$K_C^{xx} = \sum_{i=1}^n K_{xzi} C_i = 0,$$

где $C_i = 0$ при расположении ключевой точки в плоскости ватерлинии;

$$K_C^{yy} = \sum_{i=1}^n K_{xzi} C_i = 0; \quad K_a^{xz} = \sum_{i=1}^n K_{xzi} a_i = 0, \text{ где } a_i = 0;$$

$$K_b^{yz} = \sum_{i=1}^n K_{yzi} b_i = [K_{xx} (\sin \beta_{i,j} - \sin \beta_{2,j}) - K_{xy} (\cos \beta_{i,j} - \cos \beta_{2,j})] \frac{L}{2}, \text{ где } b_i = 0 \text{ при } i > 2;$$

$$K_{bb}^{xx} = \sum_{i=1}^n K_{xzi} b_i^2 = [K_{xy} (\sin \beta_{i,j} - \sin \beta_{2,j}) - K_{xx} (\cos \beta_{i,j} - \cos \beta_{2,j})] \frac{L^2}{2}, \text{ где } b_i = 0 \text{ при } i > 2;$$

$$K_{CC}^{xx} = \sum_{i=1}^n K_{xzi} C_i^2 = 0, \text{ где } C_i = 0; \quad K_{aa}^{yy} = \sum_{i=1}^n K_{yzi} a_i^2 = 0, \text{ где } a_i = 0;$$

$$K_{CC}^{yy} = \sum_{i=1}^n K_{yzi} C_i^2 = 0, \text{ где } C_i = 0; \quad K_{aa}^{zz} = \sum_{i=1}^n K_{zzi} a_i^2 = 0, \text{ где } a_i = 0;$$

$$K_{bb}^{zz} = \sum_{i=1}^n K_{zzi} b_i^2 = K_{xx} \frac{L^2}{2}, \text{ где } b_i = 0 \text{ при } i > 2; \quad K_{ab}^{xy} = \sum_{i=1}^n K_{xyi} a_i b_i = 0, \text{ где } a_i = 0;$$

$$K_{ac}^{xz} = \sum_{i=1}^n K_{xzi} a_i C_i = 0, \text{ где } a_i = 0; \quad K_{bc}^{yz} = \sum_{i=1}^n K_{yzi} b_i C_i = 0, \text{ где } C_i = 0, \quad (19)$$

где w_c – проекция перемещения точки на ось; C_i – z -координата (аппликата) точки; φ_x , φ_y , φ_z – углы поворота относительно осей X , Y , Z ; J_{0x} , J_{0y} – моменты инерции площади ватерлинии относительно осей, проходящих через точку O и параллельных соответствующим осям координат; P_x , P_y , P_z , M_x , M_y , M_z – проекции и моменты внешних статических сил.

После подстановки приведенных значений получим

$$\Omega_x = K_{xx} \frac{L^2}{2} + \gamma J_{0x}; \quad \Omega_y = \gamma S a_0^2 + \gamma J_{0y};$$

$$\Omega_z = [K_{xy}(\sin \beta_{i,j} + \sin \beta_{2,i}) + K_{xx}(\cos \beta_{i,j} + \cos \beta_{2,j})] \frac{L^2}{4}. \quad (20)$$

Значения моментов инерции площадей ватерлинии для прямоугольного понтона шириной B и длиной L будут соответственно $J_{0x} = \iint_S y^2 dx dy = \int_{-B/2}^{B/2} \left[\int_{-L/2}^{L/2} y^2 dy \right] dx = \frac{BL^3}{12}$

и $J_{0y} = \frac{LB^3}{12}$, а площадь ватерлинии $S = BL$, тогда

$$\Omega_x = K_{xx} \frac{L^2}{2} + \gamma \frac{BL^3}{12}; \quad \Omega_y = \gamma \frac{LB^3}{12}, \quad \Omega_z = [K_{xy}(\sin \beta_{i,j} + \sin \beta_{2,j}) + K_{xx}(\cos \beta_{i,j} + \cos \beta_{2,j})] \frac{L^2}{4}, \quad (21)$$

где учтено, что точка O совпадает с C и $a_C = 0$.

После подстановки получим систему уравнений:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n (K_{xx} \cos \beta_{i,j} + K_{xy} \sin \beta_{i,j}) u_C &= P_x; \\ \sum_{i=1}^n (K_{yy} \cos \beta_{i,j} - K_{xy} \sin \beta_{i,j}) v_C + [K_{xx}(\sin \beta_{i,j} - \sin \beta_{2,j}) - K_{xy}(\cos \beta_{i,j} - \cos \beta_{2,j})] \frac{L}{2} \varphi_x &= P_y; \\ (nK_{xx} + \gamma BL) w_C &= P_z; \\ [K_{xx}(\sin \beta_{i,j} - \sin \beta_{2,j}) - K_{xy}(\cos \beta_{i,j} - \cos \beta_{2,j})] \frac{L}{2} v_C + \left(K_{xx} \frac{L^2}{2} + \gamma \frac{BL^3}{12} \right) \varphi_x &= M_x; \\ \gamma \frac{LB^3}{12} \varphi_y = M_y; [K_{xy}(\sin \beta_{i,j} + \sin \beta_{2,j}) - K_{xx}(\cos \beta_{i,j} + \cos \beta_{2,j})] \frac{L^2}{4} \varphi_z &= M_z. \end{aligned} \quad (22)$$

Особенности расчета системы невзаимодействующих объектов. Для характеристики одного плавучего объекта этих уравнений достаточно. Статические расчеты системы понтонов следует вести с помощью матрицы $\alpha_{i,j}$, которая определяет угловое положение системы координат X_i, Y_j плавучего объекта в системе координат цепной линии x_0, y_0 .

Для ее определения найдем производную

$$\frac{d\alpha}{dS} = \frac{d\alpha}{dx_0} / \frac{dS}{dx_0}. \quad (23)$$

Из выражения $\operatorname{tg} \alpha = dy_0 / dx_0$ запишем $\operatorname{arctg}(dy_0 / dx_0)$, поэтому имеем

$$\frac{\partial \alpha}{\partial x_0} = \frac{\frac{dy_0}{dx_0}}{1 + \left(\frac{dy_0}{dx_0} \right)^2} = \frac{1}{\operatorname{ach} \frac{x_0}{a}}, \quad (24)$$

где $\frac{dy_0}{dx} = \operatorname{sh} \frac{x_0}{a}$, $\frac{d^2 y_0}{dx^2} = \frac{1}{a} \operatorname{ch} \frac{x_0}{a}$ и учтено, что $\operatorname{ch}^2 x_0 - \operatorname{sh}^2 x_0 = 1$. Для производной по дуге S имеем

$$\frac{\partial S}{\partial x_0} = \sqrt{1 + \left(\frac{dy_0}{dx} \right)^2} = \sqrt{1 + \operatorname{sh}^2 \frac{x_0}{a}} = \operatorname{ch} \frac{x_0}{a}, \quad (25)$$

поэтому

$$\frac{\partial \alpha}{\partial x_0} = \frac{1}{a^2 \left(1 + sh^2 \frac{x_0}{a} \right)} = \frac{1}{a^2 + S^2}. \quad (26)$$

Из последнего равенства, интегрируя по S , найдем

$$\alpha(S) = a \int_0^{S_j} \frac{dS}{a^2 + S^2} = \operatorname{arctg} \frac{S}{a} \Big|_0^{S_j}. \quad (27)$$

Разбив длину дуги на участки $S_j = \frac{L}{2} + l$, где l – длина участка лежня между понтонами, L – длина понтона, для понтона под номером j угол наклона к оси x_0 (к оси запани) будет определен в виде

$$\alpha_j = \operatorname{arctg} \left[\frac{j}{a} (L + l) \right], \quad (28)$$

где $j = 1, 2, \dots, N$ отсчитывается от центра запани для одной из ее половин.

Угол подхода канатной связи i , отсчитываемый относительно оси Y_j к понтону j , определится в виде

$$\beta_{j,i} = \operatorname{arctg} \left[(-1)^i \frac{j}{a} (L + l) \frac{L}{2a} \right], \quad (29)$$

где $i = 1, 2$ – номер канатной связи j -го понтона.

Вводя некоторую функцию $\alpha_{i,j}$ в обобщенном виде для углов, отсчитываемых от направления x_0 , можно записать

$$\alpha_{i,j} = \frac{1 + (-1)^i}{2} \operatorname{arctg} \left[\frac{j}{a} (L + l) \right] + (-1)^i \frac{1 + 2i - (-1)^i}{4} \operatorname{arctg} \left[\frac{j}{a} (L + l) + \left((-1)^i \frac{1 + 2i - (-1)^i}{4} \right) \frac{L}{2a} \right], \quad (30)$$

где $i = 0, 1, 2$, поэтому значение $i = 0$ соответствует точке C j -го понтона, $i = 1$ и $i = 2$ – точкам подхода связи (ключевым точкам), отсчитываемым от центра запани соответственно.

Теперь компоненты $\alpha_{i,j}$ будут

$$\begin{aligned} \alpha_{0,j} &= \operatorname{arctg} \left[\frac{j}{a} (L + l) \right]; \quad \alpha_{1,j} = -\operatorname{arctg} \left[\frac{j}{a} (L + l) - \frac{L}{2a} \right]; \\ \alpha_{2,j} &= \operatorname{arctg} \left[\frac{j}{a} (L + l) \right] + \operatorname{arctg} \left[\frac{j}{a} (L + l) + \frac{L}{2a} \right]. \end{aligned} \quad (31)$$

Использованный выше угол $\beta_{i,j}$ определяется выражениями

$$\beta_{1,j} = \frac{3\pi}{2} - \alpha_{0,j} - \alpha_{1,j}, \quad \beta_{2,j} = \frac{\pi}{2} - \alpha_{0,j} + \alpha_{2,j}. \quad (32)$$

Если определяется положение дополнительных опор ($n > 2$), то

$$\beta_{i,j} = \frac{\pi}{2} - \alpha_{0,j} + \beta_{k,j}, \quad \text{где } k = 2, \dots, n. \quad (33)$$

Уравнения динамики плавучих объектов с канатными опорами. Динамические расчеты плавучих объектов включают: определение свободных колебаний, проверку работы объекта на резонанс и определение характеристик вынужденных колебаний.

При колебаниях плавучих объектов возникают диссипативные силы сопротивления.

В соответствии с уравнением Лагранжа

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right) + \frac{\partial U}{\partial q} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}} = Q, \quad (34)$$

где T – кинетическая энергия; U – потенциальная энергия системы; Φ – функция диссипации; Q – обобщенные силы; q – обобщенные координаты; t – время; точками обозначены производные по времени.

С учетом уравнений кинематики для кинетической энергии объекта напишем интеграл

$$T = \frac{1}{2} \int_V \left[(\dot{u}_C + z\dot{\phi}_y - y\dot{\phi}_z)^2 + (\dot{w}_C + y\dot{\phi}_x - x\dot{\phi}_y)^2 \right] dm, \quad (35)$$

где dm – масса элементарного объема.

Введем соотношения

$$M = \int_V dm; \quad \theta_x = \int_V (y^2 + z^2) dm; \quad \theta_y = \int_V (x^2 + z^2) dm; \quad \theta_z = \int_V (x^2 + y^2) dm; \quad \theta_{xy} = \int_V (xy) dm; \\ \theta_{xz} = \int_V (xz) dm; \quad \theta_{yz} = \int_V (yz) dm, \quad (36)$$

где M – масса тела; $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ – моменты инерции массы тела относительно осей координат; $\theta_{xy}, \theta_{xz}, \theta_{yz}$ – центробежные моменты инерции массы тела. Окончательное выражение для кинетической энергии преобразуется к виду

$$T = \frac{1}{2} \int_V M \left[(\dot{u}_C^2 + \dot{v}_C^2 + \dot{w}_C^2) + \theta_x \dot{\phi}_x^2 + \theta_y \dot{\phi}_y^2 + \theta_z \dot{\phi}_z^2 - 2\theta_{xy} \dot{\phi}_x \dot{\phi}_y - 2\theta_{xz} \dot{\phi}_x \dot{\phi}_z - 2\theta_{yz} \dot{\phi}_y \dot{\phi}_z \right] dm. \quad (37)$$

Диссипативная функция Релея имеет форму

$$\Phi = \frac{1}{2} (\beta_x \dot{u}_C^2 + \beta_y \dot{v}_C^2 + \beta_z \dot{w}_C^2 + \mu_x \dot{\phi}_x^2 + \mu_y \dot{\phi}_y^2 + \mu_z \dot{\phi}_z^2), \quad (38)$$

где $\beta_x, \beta_y, \beta_z$ – коэффициенты пропорциональности между силами сопротивления и проекциями скоростей центра тяжести тела на оси X, Y, Z ; μ_x, μ_y, μ_z – коэффициенты пропорциональности между моментами сопротивления и скоростями вращения тела вокруг осей X, Y, Z .

При двух вертикальных взаимно перпендикулярных плоскостях симметрии уравнения вынужденных колебаний приобретают вид

$$M\ddot{w}_C + (K^{zz} + \gamma S)w_C = P_z(t); \quad M\ddot{u}_C + K^{xx}u_C + (K_C^{xx} - K_a^{xz})\phi_y = P_x(t); \\ \theta_y\ddot{\phi}_y + (K_C^{xx} - K_a^{xz})u_C + \Omega_y\phi_y = M_y(t); \quad M\ddot{v}_C + K^{yy}v_C + (K_b^{yz} - K_C^{yy})\phi_x = P_y(t); \\ \theta_x\ddot{\phi}_x + (K_b^{yz} - K_C^{yy})v_C + \Omega_x\phi_x = M_x(t); \quad \theta_z\ddot{\phi}_z + \Omega_z\phi_z = M_z(t).$$

Сравнение с системой уравнений в статике позволяет записать

$$M\ddot{w}_C + (nK_{xx} + \gamma BL)w_C = P_z(t); \\ M\ddot{u}_C + \sum_{i=1}^n (K_{xx} \cos \beta_{i,j} + K_{xy} \sin \beta_{i,j})u_C = P_x(t); \quad \theta_y\ddot{\phi}_y + \gamma \frac{LB^3}{12}\phi_y = M_y(t); \\ M\ddot{v}_C + \sum_{i=1}^n (K_{yy} \cos \beta_{i,j} - K_{xy} \sin \beta_{i,j})v_C + [K_{xx}(\sin \beta_{1,j} - \sin \beta_{2,j}) - K_{xy}(\cos \beta_{1,j} - \cos \beta_{2,j})] \frac{L}{2}\phi_x = P_y(t);$$

$$\begin{aligned}\theta_x \ddot{\varphi}_x + [K_{xx}(\sin \beta_{1,j} - \sin \beta_{2,j}) - K_{xy}(\cos \beta_{1,j} - \cos \beta_{2,j})] \frac{L}{2} v_C + \varphi_x \left(K_{xx} \frac{L^2}{2} + \frac{BL^3}{12} \right) &= M_x(t); \\ \theta_z \ddot{\varphi}_z + [K_{xy}(\sin \beta_{1,j} + \sin \beta_{2,j}) + K_{xx}(\cos \beta_{1,j} + \cos \beta_{2,j})] \frac{L^2}{4} \varphi_z &= M_z(t).\end{aligned}\quad (39)$$

Вводя обозначения

$$\begin{aligned}\lambda_x^2 &= \frac{\sum_{i=1}^n (K_{xx} \cos \beta_{i,j} + K_{xy} \sin \beta_{i,j})}{M'}; \\ \lambda_y^2 &= \frac{\sum_{i=1}^n (K_{yy} \cos \beta_{i,j} - K_{xy} \sin \beta_{i,j}) + [K_{xx}(\sin \beta_{1,j} - \sin \beta_{2,j}) - K_{xy}(\cos \beta_{1,j} - \cos \beta_{2,j})] \frac{L}{2}}{M''}; \\ \lambda_z^2 &= \frac{nK_{xx} + \gamma BL}{M'''}; \lambda_{\varphi_x}^2 = \frac{\Omega_x}{\theta_x} = \frac{k_{xx} \frac{L^2}{2} + \gamma \frac{BL^3}{12}}{\theta_x}; \lambda_{\varphi_y}^2 = \frac{\Omega_y}{\theta_y} = \frac{\gamma \frac{BL^3}{12}}{\theta_y}; \\ \lambda_{\varphi_z}^2 &= \frac{\Omega_z}{\theta_z} = \frac{[K_{xy}(\sin \beta_{1,j} + \sin \beta_{2,j}) + K_{xx}(\cos \beta_{1,j} + \cos \beta_{2,j})] \frac{L^2}{4}}{\theta_z},\end{aligned}\quad (40)$$

после подстановки уравнения (39) перепишутся в виде:

$$\begin{aligned}\ddot{u}_C + \lambda_x^2 u_C &= \frac{1}{M'} P_x(t); \ddot{v}_C + \lambda_y^2 v_C = \frac{1}{M''} P_y(t); \ddot{w}_C + \lambda_z^2 w_C = \frac{1}{M'''} P_z(t); \\ \ddot{\varphi}_x + \lambda_{\varphi_x}^2 \varphi_x &= \frac{M_x(t)}{\theta_x}; \ddot{\varphi}_y + \lambda_{\varphi_y}^2 \varphi_y = \frac{M_y(t)}{\theta_y}; \ddot{\varphi}_z + \lambda_{\varphi_z}^2 \varphi_z = \frac{M_z(t)}{\theta_z}.\end{aligned}\quad (41)$$

Уравнения динамики плавучих объектов для частных видов колебаний. Для учета сопротивлений, вызываемых вязкостью жидкости, последние уравнения следует дополнить членами пропорциональными u_C , v_C , w_C с коэффициентами пропорциональности β_x , β_y , β_z и членами пропорциональными φ_x , φ_y , φ_z с коэффициентами пропорциональности μ_x , μ_y , μ_z . Решение этой системы целесообразно вести, рассматривая частные виды колебаний отдельно. При этом массу M' , входящую в систему, можно представить в виде суммы

$$M' = M_k + M_x, \quad (42)$$

где M_k – масса корпуса; M_x – присоединенная масса воды при горизонтальных колебаниях.

Если u – горизонтальные колебания корпуса объекта и ввести обозначения

$$n_x = \frac{\beta_x}{2M'}; n_y = \frac{\beta_y}{2M''}; n_z = \frac{\beta_z}{2M'''}, \quad (43)$$

то уравнение вынужденных горизонтальных колебаний будет

$$\ddot{u} + 2n_x \dot{u} + \lambda_x^2 u = \frac{P_x(t)}{M'}, \quad (44)$$

где коэффициент затухания n_x и собственная частота колебаний λ_x без учета влияния затухания имеют выражения

$$n_x = \frac{\beta_x}{2(M_k + M_x)}; \lambda_x = \sqrt{\frac{K_{xx} \cos \beta_{i,j} + K_{xy} \sin \beta_{i,j}}{M_k + M_x}}. \quad (45)$$

Собственная частота горизонтальных колебаний с учетом затухания

$$\omega_x = \sqrt{\lambda_x^2 - n_x^2}, \quad (n_x < \lambda_x). \quad (46)$$

Свободные горизонтальные колебания определяются смещениями

$$u = A_x e^{-n_x t} \sin(\lambda_x t + \varepsilon). \quad (47)$$

При регулярном волнении правая часть уравнения примет вид

$$\frac{P_x}{M_k + M_x} \sin(pt + \delta), \quad (48)$$

где P_x – амплитуда волнового давления; p – частота волн; δ – начальная фаза, при этом $p = 2\pi/\tau$, где τ – период волн.

Частное решение в этом случае будет

$$u = A_x \sin(pt + \delta + \varepsilon), \quad (49)$$

где A_x – амплитуда вынужденных колебаний, $A_x = \frac{P_x}{\lambda_x^2 (M_k + M_x)} k_{\alpha x}$; ε – сдвиг фаз,

$$\operatorname{tg} \varepsilon = -\frac{2n_x p}{\lambda_x^2 - p^2}.$$

Коэффициент динамичности с учетом затухания $k_{\alpha x} = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{p^2}{\lambda_x^2}\right)^2 + 4n_x^2 \frac{p^2}{\lambda_x^4}}}$ при ре-

зонансе принимает значение ($p = \lambda_x$) и $k_{\alpha x} = \lambda_x / 2n_x$.

Рассмотрим случаи вертикальных и вращательных колебаний. Эти типы колебаний представляются при регулярном волнении с учетом сопротивления в виде:

$$1) \text{ вертикальные колебания } \ddot{w} + 2n_z \dot{w} + \lambda_z^2 w = \frac{1}{M^m} P_z(t); \quad (50)$$

$$2) \text{ вращательные колебания } \ddot{\varphi}_y + 2n_\varphi \dot{\varphi}_y + \lambda_\varphi^2 \varphi_y = \frac{M_y(t)}{\theta_y}, \quad (51)$$

где $M^m = M_k + M_z$; $n_z = \frac{\beta_z}{2(M_k + M_z)}$; $n_\varphi = \frac{M_y}{2(\theta_y + \theta_{\varphi y})}$; $\theta_{\varphi y}$ – присоединенный момент

инерции массы воды относительно и Y ; $\lambda_z = \sqrt{\frac{nK_{xx} + \gamma BL}{M_k + M_z}}$, $\lambda_\varphi = \sqrt{\frac{\gamma BL^3 / 12}{\theta_y + \theta_{\varphi y}}}$ – частоты собственных колебаний без учета влияния затухания при $n = 2, 3$ – число канатных опор.

Частоты собственных вертикальных и вращательных колебаний с учетом затухания:

$$\omega_z = \sqrt{\lambda_z^2 - n_z^2}; \quad \omega_\varphi = \sqrt{\lambda_\varphi^2 - n_\varphi^2}; \quad (n_z < \lambda_z; n_\varphi < \lambda_\varphi). \quad (52)$$

При регулярном волнении для правых частей основных уравнений запишем

$$\frac{P_z(t)}{M_k + M_z} \sin(pt + \delta); \frac{M_y(t)}{\theta_y + \theta_{\varphi}} \sin(pt + \delta), \quad (53)$$

где $P_z(t)$, $M_y(t)$ – амплитуды сил и моментов от волнового давления.

В этом случае частные решения будут иметь вид

$$w = A_z \sin(pt + \delta + \varepsilon); \varphi_y = A_\varphi \sin(pt + \delta + \varepsilon), \quad (54)$$

где $A_z = \frac{P_z}{\lambda_z^2(M_k + M_z)} k_{\partial z}$; $A_\varphi = \frac{M_y}{\lambda_\varphi(\theta_y + \theta_{\varphi})} k_{\partial z}$ – амплитуды вынужденных колебаний.

Коэффициенты динамичности с учетом затухания

$$k_{\partial i} = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{p^2}{\lambda_i^2}\right)^2 + 4n_i^2 \frac{p^2}{\lambda_i^4}}}, \quad i = z, \varphi \quad (55)$$

при резонансе принимают простой вид $k_{\partial i} = \frac{\lambda_i}{2n_i}$, ($i = z, \varphi$).

Гидродинамическое воздействие на плавучие объекты. Рассмотрим характеристики гидродинамического воздействия воды на объект при вертикальных колебаниях. Для плавучих объектов с прямоугольной формой подводной части величины присоединенных масс можно с достаточной точностью определять по результатам теории качки судов.

Вертикальные колебания. При вертикальных колебаниях, в частности, верна формула Хаскинда-Пабста

$$M_z = 0,5\zeta_1\zeta_2\rho LB^2, \quad \zeta_1 = \frac{L/B}{\sqrt{1+(L/B)^2}} \left[1 - 0,425 \frac{L/B}{1+(L/B)^2} \right], \quad (56)$$

где ζ_1 – коэффициент продольного растекания; ζ_2 – коэффициент, зависящий от отношения осадки T к ширине B .

Горизонтальные колебания. В этом случае для прямоугольных форм подводной части объектов находим

$$M_x = \zeta'_1\zeta_2\rho LT^2, \quad \zeta'_1 = \frac{L/2T}{\sqrt{1+(L/2T)^2}} \left[1 - 0,425 \frac{L/2T}{1+(L/2T)^2} \right]. \quad (57)$$

Величина коэффициента $\zeta_2 = f(B/4T)$ определяется по графику (рис. 3).

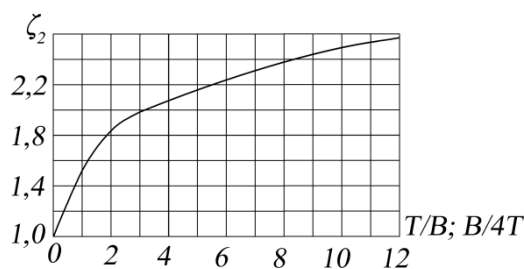


Рис. 3. График функции $\zeta_2 = f(B/4T)$

Вращательные колебания (бортовая качка). В этом случае момент инерции присоединенной массы воды (вращение относительно продольной оси) рекомендуется определять из формулы

$$\theta_{\varphi} = \frac{1}{81,5} \rho L B^4. \quad (58)$$

Погонная присоединенная масса при поперечных колебаниях канатов в воде может быть учтена умножением погонной массы каната на коэффициент 1,13.

Проверка на резонанс. Для этого должны вычисляться частоты собственных колебаний λ_i ($i = x, z, \varphi$) и сравниваться с преобладающими частотами волнения. В зависимости от отношений частот p/λ_i и величин коэффициентов затухания n_i вычисляются значения коэффициентов динамичности $k_{\partial i}$ и строится график $k_{\partial i} = f(p/\lambda_i)$. При отношениях $p/\lambda_i < 1$ объект совершает колебания в фазе с волной, а при $p/\lambda_i > 1$ – в противофазе. Вне резонансной зоны практические расчеты могут проводиться без учета затухания колебаний.

Резонансная зона ограничивается диапазоном $0,7 < p/\lambda_i < 1,35$.

Связь между теоретическими зависимостями и конкретными характеристиками запани выглядит следующим образом. Применительно к обозначениям Инструкции [1], входящие в расчетные зависимости величины имеют вид:

$$y_0 = f + a; \quad q = (\tau + \tau_{\epsilon})L_p; \quad q' = (\tau + \tau_{\epsilon})L_n \quad (59)$$

при условии $L_p > L_n$; $x_0 = b/2$; $\alpha^{\circ} = 90^{\circ} - \arccos \varphi^{\circ}$, где f – стрела провиса запани; τ – удельная сила влечения запанного пыжа потоком; τ_{ϵ} – удельная активная сила действия ветра; L_p , L_n – расчетная и реальная длина пыжа; b – ширина запани; φ° – угол примыкания запани к береговой линии.

Из уравнения цепной линии следует соотношение

$$f = a \left(ch \frac{b}{2a} - 1 \right), \quad (60)$$

которое позволяет по известному f/b значению найти величину a .

Величина натяжения в месте присоединения каната к опоре будет

$$T = q(a + f) = (\tau + \tau_{\epsilon})L_n(a + f). \quad (61)$$

Длина лежня найдется из формулы

$$S_n = 2S + 2ash \frac{b}{2a}. \quad (62)$$

Вычисление моментов инерции при прямоугольной форме корпуса понтонов.

При расчетах принимается равномерное распределение плотности $\rho = M_k/V$, где V – объем понтона, $V = BLH$; B , L , H – ширина, длина и высота понтона соответственно.

Кроме того, для случая прямоугольной формы корпуса моменты инерции массы понтонов относительно осей координат определяются по формулам

$$\theta_x = \iiint_V \rho(y^2 + z^2) dx dy dz = \rho \int_{-B/2}^{B/2} \left\{ \int_{-L/2}^{L/2} \left[\int_{-k_2 H}^{k_1 H} (y^2 + z^2) dz \right] dy \right\} dy =$$

$$\frac{M_k}{3} \left[(k_1 + k_2) \frac{L^2}{4} + (k_1^3 + k_2^3) H^2 \right];$$

$$\theta_y = \iiint_V \rho(x^2 + z^2) dx dy dz = \rho \int_{-B/2}^{B/2} \left\{ \int_{-L/2}^{L/2} \left[\int_{-k_2 H}^{k_1 H} (x^2 + z^2) dz \right] dy \right\} dy =$$

$$\frac{M_k}{3} \left[(k_1 + k_2) \frac{B^2}{4} + (k_1^3 + k_2^3) H^2 \right];$$

$$\theta_z = \iiint_V \rho(x^2 + y^2) dx dy dz = \rho \int_{-B/2}^{B/2} \left\{ \int_{-L/2}^{L/2} \left[\int_{-k_2 H}^{k_1 H} (x^2 + y^2) dz \right] dy \right\} dy = \frac{M_k}{12} (k_1^3 + k_2^3) (B^2 + L^2), \quad (63)$$

а центробежные моменты инерции массы понтонов в виде

$$\theta_{xy} = \int_V xy dm = \iiint_V \rho xy dx dy dz = \rho \int_{-B/2}^{B/2} \left\{ \int_{-L/2}^{L/2} \left[\int_{-k_2 H}^{k_1 H} xy dz \right] dy \right\} dy = \frac{M_k}{16} (k_1 + k_2) LB;$$

$$\theta_{xz} = \int_V xz dm = \iiint_V \rho xz dx dy dz = \rho \int_{-B/2}^{B/2} \left\{ \int_{-L/2}^{L/2} \left[\int_{-k_2 H}^{k_1 H} xz dz \right] dy \right\} dy = \frac{M_k}{8} (k_1^2 + k_2^2) BH;$$

$$\theta_{yz} = \int_V yz dm = \iiint_V \rho yz dx dy dz = \rho \int_{-B/2}^{B/2} \left\{ \int_{-L/2}^{L/2} \left[\int_{-k_2 H}^{k_1 H} yz dz \right] dy \right\} dy = \frac{M_k}{8} (k_1^2 + k_2^2) HL, \quad (64)$$

где $M_k = \rho V = \rho BLH$ – масса понтона; k_1 и k_2 – коэффициенты расположения лежня по высоте понтона, $k_1 = \frac{H - H_n}{H}$, $k_2 = \frac{H_n}{H}$; H_n – расстояние от уровня расположения лежня до основания понтона.

Методика расчета наплавных сооружений запани на канатных опорах включает следующие этапы:

1) экспериментальным путем определяются величины коэффициентов жесткости K_{xx} , K_{yy} , K_{zz} при условии примыкания канатной опоры по оси понтона Y ;

2) на основании уравнений цепной линии $y_0 = ach \frac{x}{a}$ (3) находится величина угла поворота осей понтона относительно оси параллельной оси запани $\alpha_{0,j}$ и вычисляются углы поворота основных связей $\alpha_{1,j}$ и $\alpha_{2,j}$ (31);

3) определяются угловые положения основных опор $\beta_{1,j}$, $\beta_{2,j}$ (32) и угловое положение $\beta_{i,j}$ (33) дополнительных опор, имеющих точку примыкания в центре тяжести понтона;

4) определяются проекции и моменты внешних статических сил P_x , P_y , P_z , M_x , M_y , M_z (22) j -го понтона;

5) вычисляются моменты инерции массы понтонов θ_x , θ_y , θ_z (63) и центробежные моменты инерции понтонов θ_{xy} , θ_{xz} , θ_{yz} (64);

6) находятся собственные частоты горизонтальных колебаний без учета λ_x (45) и с учетом влияния затухания ω_x (46), вертикальных колебаний без учета λ_z (51) и с учетом ω_x (52), вращательных колебаний без учета λ_ϕ (51) и с учетом влияния затухания ω_ϕ (52);

7) вычисляются значения присоединенных масс воды при горизонтальных M_x (57), (рис. 3) и вертикальных колебаниях M_z (56), (рис. 3), а также момент инерции присоединенной массы воды при вращении относительно продольной оси θ_φ (58);

8) рассчитываются вертикальная сила $P_z(t)$ (1) и динамическое давление p_x (2) от волновой нагрузки на понтоны;

9) оценивается ширина резонансной зоны для волнового режима водохранилища по формуле $0,7 < p / \lambda_i < 1,35$. Если резонанса не возникает, то для динамических расчетов используется система уравнений (44), (50) и (51);

10) на основании полученных силовых факторов оцениваются характеристики наплавных элементов запани и ее лежня с учетом коэффициентов динамичности k_{ax} , k_{ay} и $k_{a\varphi}$ (55);

11) суммарные силовые факторы определяются по соответствующим результатам статических и динамических расчетов;

12) в случае превышения динамических нагрузок над предельно допустимыми по разрывному усилию лежня вводятся динамические вставки – гасители в виде упругих элементов и производится перерасчет нагрузок в запани;

13) на основании силового расчета подбирается регулирующее устройство для компенсации вертикальных нагрузок на запань при изменении уровня воды;

14) проверяются береговые понтоны на отрыв.

Выводы.

1. При выборе способов обустройства лесозадерживающих запаней для водохранилищ ГЭС решаются задачи определения характера внешних нагрузок и их пространственно-временных зависимостей.

2. В комплексе расчетов запани центральное место занимает решение задачи в предположении стационарности и квазистационарности внешних сил.

3. К динамическим задачам относятся прочностные расчеты элементов запани от действия изменяющихся во времени нагрузок. При этом в качестве основных принимаются ветровые и волновые виды нагрузок.

4. При решении поставленных задач используются методы расчета сооружений при гибком характере удерживающих связей.

5. В результате исследований получена методика расчета запаней для условий водохранилищ ГЭС.

Список литературы

1. Инструкция по изысканиям, проектированию, строительству, монтажу и эксплуатации запаней. – М.: Лесная промышленность, 1971. – 104 с.
2. Мучник, С.Я. Уточненные расчеты запаней. Техническая информация / С.Я. Мучник. – Л.: Гипролестранс, 1953. – 64 с.
3. Пятакин, В.И. Водный транспорт леса / В.И. Пятакин, Ю.Я. Дмитриев, А.А. Зайцев. – М.: Лесная промышленность, 1985. – 336 с.
4. Поздеев, А.Г. Динамические и статические расчеты сооружений водохранилищ ГЭС / А.Г. Поздеев; Марийск. госуниверситет. – Йошкар-Ола, 1998. – 62 с. – Деп. в ВИНТИ 23.11.98; № 3427-В 98.
5. Кульмач, П.П. Якорные системы удержания плавучих объектов / П.П. Кульмач. – Л.: Судостроение, 1980. – 336 с.
6. Бреббия, К. Динамика морских сооружений / К. Бреббия, С. Уокер. – Л.: Судостроение, 1980. – 230 с.

Статья поступила в редакцию 09.02.11.

*A.G. Pozdeev, I.A. Polyinin,
E.M. Tsarev, Ju. A. Kuznetsova*

DEVELOPMENT OF HYDROSTATION RESERVOIRS ENGINEERING-ECOLOGICAL FACILITIES

Research target is a protective boom for driftwood prevention from arrival to hydrosystem with a wide reservoir width. The methods of static and dynamic analysis of floating structures and protective boom sill from engineering mechanics common positions are developed. As a result, a protective boom calculation procedure for ecological protection of hydroelectric power station reservoirs from driftwood negative influence is achieved.

Key words: *reservoir, hydroelectric power station, driftwood, protective boom, floating structures, ecological protection, wind, wave and shock loads.*

ПОЗДЕЕВ Анатолий Геннадиевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водных ресурсов МарГТУ. Область научных интересов – проблемы водного транспорта и комплексного освоения водных ресурсов, математическое моделирование в гидродинамике и экологии. Автор более 60 публикаций.

E-mail: PozdeevA.G.@marstu.net

ПОЛЯНИН Игорь Александрович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой транспортно-технологических машин МарГТУ. Область научных интересов – водный транспорт леса, переработка пневой древесины, сортировка технологической щепы, транспортировка лесоматериалов малыми средствами, экология и обустройство акваторий ГЭС. Автор более 70 публикаций.

E-mail: PolyininIA @marstu.net

ЦАРЕВ Евгений Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры технологии и оборудования лесопромышленных производств МарГТУ. Область научных интересов – механика, экологические проблемы защиты окружающей среды, переработка низкокачественной древесины. Автор более 100 публикаций.

E-mail: 651020@mail.ru

КУЗНЕЦОВА Юлия Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры водных ресурсов МарГТУ. Область научных интересов – исследование и моделирование русловых процессов в нижних бьефах гидроузлов, математическое моделирование в гидродинамике и экологии. Автор 14 публикаций, в том числе одной монографии и одного патента РФ.

E-mail: 2103Julia@mail.ru

УДК 630*907.11 (73)

Э. А. Курбанов, М. А. Яцков, О. Н. Воробьев,
А. В. Губаев, С. А. Лежнин

ОПЫТ СОХРАНЕНИЯ УНИКАЛЬНЫХ ЛЕСОВ И БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ В НАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРКАХ ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ СОЕДИНЕННЫХ ШТАТОВ АМЕРИКИ

Исследован опыт сохранения различных лесов национальных парков западной части США, их растительные экосистемы и биологическое разнообразие. Приведены сведения об уникальных экосистемах высокопродуктивных лесных насаждений секвойи и псевдотсуги Мензиса, а также ксерофитной растительности пустынь.

Ключевые слова: национальный парк, экосистема, дендрология, биоразнообразие, ксерофиты, секвойя, экологический туризм.

Введение. Национальные парки (НП) мира являются уникальными территориями, включающими в себя природные комплексы и объекты, имеющие особую экологическую, историческую и эстетическую ценности. В настоящее время в мире существует более тысячи национальных парков, которые занимают примерно 10 % от всей территории суши Земли [1]. Большинство НП создавалось для сохранения исчезающих видов флоры и фауны, а также уникальных природных явлений. Например, НП «Йеллоустон» США (исторически первый НП в мире) был создан в 1872 году для сохранения уникальных геотермальных источников и гейзеров. Канадский НП «Граслендс» является единственным в своем роде в Северной Америке для сохранения разнотравных экосистем прерий. НП «Лос-Гласьярес» в Патагонии Аргентины был организован для сохранения редких ледников.

Пионерами в организации НП, а также их активной популяризации среди населения и развития инфраструктуры на уровне лучших брендов международного туризма являются США. Система НП в США начала формироваться в конце XIX века. У истоков создания этого движения стояли такие известные люди, как Джон Мюир и Гиффорд Пинчот [2]. В западной части США находятся 28 НП, семь из которых расположены в Скалистых горах Кордильер.

НП США достаточно подробно описаны в современной научно-популярной литературе и туристических справочниках. Между тем в российских научных изданиях недостаточно освещены вопросы сохранения растительности и описание породного состава этих территорий.

Целью работы было изучение опыта по сохранению старовозрастных насаждений секвойи гигантской (*Sequoiadendron giganteum* Lindl.), псевдотсуги Мензиса (*Pseudotsuga menziessi* Mirb.) и других древесных пород в национальных парках западного побережья США. В задачу исследований входило знакомство с биологическим разнообразием растительного покрова наземных экосистем.



Рис. 1. Сосна скрученная в НП «Йеллоустон»



Рис. 2. Осиновая роща в НП «Гранд Титан»

Объекты и методика. В сентябре 2010 года авторы статьи посетили основные парки западного побережья США – Yellowstone, Grand Titan, Crater Lake, Redwood, Yosemite, Sequoia, Kings Canyon, Grand Canyon и Arches, расположенные в штатах Юта, Вайоминг, Айдахо, Орегон, Калифорния, Невада и Аризона. Проложенный маршрут длиной 8000 км предполагал знакомство с растительностью различных экосистем – от высокопродуктивных сомкнутых лесов тихоокеанского побережья до насаждений юкки гигантской (*Yucca brevifolia*) Аризонской пустыни. Во время поездки по изучаемым территориям глазомерно определялся состав и средние таксационные показатели древесно-кустарниковых экосистем. Также проводились беседы с представителями служб национальных парков об их опыте работы, борьбе с лесными пожарами и сохранением биоразнообразия. Описание растительного покрова осуществлялось при помощи справочников древесных пород западной части США [3].

Результаты. Растительность НП «Гранд Титан» и «Йеллоустон». Около 80 % территории этих национальных парков покрыты лесами, примерно 60 % из которых входят в субальпийскую группу, в которых пихта доминирует в климаксовых сообществах, а сосна скрученная

широкохвойная (*Pinus contorta* Dougl.) является основной промежуточной породой в сукцессии древостоев к климаксовым сообществам [4]. Древостои с преобладанием пихты достаточно редки на территории НП, что связано с пожарами, которые часто случаются в спелых и старовозрастных древостоях. Поэтому в 80 % лесов преобладает сосна скрученная (рис. 1). Восемь процентов территории парков представлены влажными лесами с примесью субальпийской пихты (*Abies lasiocarpa* (Hook) Nutt.) и ели Энгельмана (*Picea engelmannii* Parry ex Engelm.) в основном ярусе и в подлеске. Осина (*Populus tremuloides* Minchx.) не является основной лесообразующей породой, встречаясь в виде рощиц (рис. 2), и редко образует древостои площадью более 4 га. Большинство осинников являются отдельными клонами, которые берут свое начало от периода отступления ледников (12 – 14 тыс. лет назад).



Рис. 3. Гидротермальный источник в НП «Йеллоустон»

Почвы в таких лесах обычно насыщены влагой, а живой напочвенный покров представлен хвощами (представителями рода *Equisetum*), вейником канадским (*Calamagrostis canadensis* Michx.), багульником (*Ledum glandulosum* Nutt.), стрептопусом стеблеобъемлющим (*Streptopus amplexifolius* L.), крестовником треугольным (*Senecio triangularis*) и различными гигрофильными мхами.

Большую часть территории парка «Йеллоустон» занимают гидротермальные территории с

горячими источниками, гейзерами и грязевыми вулканами (рис. 3). Такие гидротермальные районы и участки характеризуются высоким разнообразием растений. Растительность представлена водорослями, травами и осоками. Условия, создаваемые горячими источниками, пригодны для жизни даже тропических растений. Два вида таких тропических растений произрастают в парке: *Chara zeylanica* (примитивное водное растение, по своему развитию занимающее место где-то между водорослями и высшими растениями) и *Eleocharis compressa* (болотница).



Рис. 4. Сосна желтая



Рис. 5. Тсуга Мертенса

НП «Кратерное озеро» был основан в 1902 году, до того, как промышленные лесозаготовки достигли региона Высоких Каскадов. Благодаря этому, в настоящее время парк практически полностью покрыт старовозрастными лесами. Однако местные условия произрастания (короткий вегетационный период и низкоплодородные вулканические почвы) сдерживают рост деревьев, в связи с этим высота деревьев в парке редко превышает 46 м, а диаметр – 1,2 м.



Рис. 6. Секвойя вечнозеленая в НП «Редвуд»

Рис. 7. Псевдотсуга Мензиса (до 80 м)
в учебно-опытном лесу Орегонского университета

Флора парка представлена растительными видами, типичными для зоны южных каскадных гор [5]. Леса парка состоят в основном из хвойных пород, хотя местами встречаются лиственные породы. В парке выделяют четыре основные лесные зоны, название каждой из которых соответствует основной преобладающей лесообразующей породе:

1) при подъезде к парку «Кратерное озеро» с запада или юга на высоте 1370 м над уровнем моря можно увидеть первую лесную зону, состоящую из сосны желтой (рис. 4);

2) на высоте примерно 1520 м насаждения сосны желтой уступают место сосне скрученной;

3) тсуга Мертенса (*Tsuga mertensiana* Bong. Carr) доминирует в лесных сообществах на высоте 1830 м (рис. 5). Здесь еще можно встретить довольно высокие деревья;

4) последняя зона, представленная чистыми древостоями сосны белоствольной (*Pinus albicaulis* Engelm.), расположена на высоте от 2290 до 2721 м над уровнем моря. Большинство древостоев сосны белоствольной представляют собой редколесье с перемежающимися выходами горных пород на поверхность.

НП «Редвуд». В парке встречаются 856 видов растений [6]. Из них 699 считаются коренными. Основной тип растительности – прибрежные леса с преобладанием секвойи вечнозеленой (*Sequoia sempervirens* Endl.). Почти 40 % площади парка занимают старовозрастные леса секвойи, около 50 % составляют молодняки, появившиеся после рубок. На сегодня леса секвойи (рис. 6) встречаются только во влажных регионах западного побережья Северной Америки. В парке растет самое высокое дерево в мире – высотой 112,1 м. Возраст реликтовых гигантских деревьев секвойи может достигать 4000



Рис. 8. Самое большое дерево на земле расположено в НП «Секвойя»

примерно на высоте 915 м над уровнем моря. Леса этой зоны представлены в основном хвойными породами: сосной желтой, рощами секвойи гигантской (*Sequoiadendron giganteum* Lindl.), пихтой одноцветной (*Abies concolor*), редко встречается дуб Келлога (*Quercus kelloggii*). Выше в горы породный состав меняется – чаще встречаются насаждения пихты великолепной (*Abies magnifica*), сосны скрученной, можжевельника западного (*Juniperus occidentalis*) и сосны Жеффрея (*Pinus jeffreyi*).

В НП «Секвойя» преобладают смешанные хвойные леса, расположенные на нижних и средних склонах горной системы Сьерра Невада [8]. Здесь в лесах встречаются сосна желтая (*Pinus ponderosa*), калоцедрус низбегающий (*Calocedrus decurrens*), сосна Ламберта или сахарная (sugar pine) (*Pinus lambertiana* Dougl.) и рощи секвойи гигантской. В верховье гор смешанные хвойные леса уступают место практически чистым древостоям пихты великолепной и сосны скрученной. В НП «Секвойя» растёт самое большое дерево в мире – «Генерал Шерман» (рис. 8). Запас его стволовой древесины составляет около 1200 м³, возраст 2200 лет, высота 95 м и диаметр у комля 11 м.

НП «Гранд Каньон». Многие считают, что Гранд Каньон – это только система каменистых ущелий, образованных за века притоками реки Колорадо (рис. 9). Однако это не так. В границах парка американскими учеными выявлено более 1500 видов сосудистых растений, 167 грибов, 64 мхов и 195 лишайников [9]. Высокий уровень биологического разнообразия в парке в основном связан с перепадом высот в 2438 м от русла реки, являющейся низшей точкой, до северной каемки парка, являющейся высшей точкой.

лет. Сопутствующими породами в лесах секвойи являются псевдотсуга Мензиса (*Pseudotsuga menziesii* Mirb.), тсуга западная (*Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg.), литокарпус густоцветковый (*Lithocarpus densiflorus*), пихта великая (*Abies grandis*), ель Ситхинская (*Picea sitchensis*), земляничник Мензиса (*Arbutus menziesii*), клен крупнолистный (*Acer macrophyllum*) и лавр калифорнийский (*Umbellularia californica*). Наиболее продуктивные древостои парка расположены на аллювиальных равнинах и террасах вдоль более крупных рек и ручьев.

НП «Йосемити» расположен в штате Калифорния среди гор Сьерра Невады и занимает территорию приблизительно в 3100 км². Парк состоит из пяти растительных зон, в которых произрастают более 20 % из 7 тыс. видов растений, распространенных в Калифорнии [7]. Климат района средиземноморский с частыми зимними снегопадами. Зона горных лесов в парке находится



Рис. 9. «Гранд Каньон» США



Рис. 10. «Деликатная арка» в НП «Арки» (16 м)

Прибрежные (береговые) растительные сообщества расположены вдоль реки Колорадо и ее непересыхающих притоков. Основными видами здесь являются койотова ива (*Salix exigua* Nutt.), плюхей блестящая (*Pluchea sericea* Nutt.) и акация Грегга (*Acacia greggii*). У источников и в местах просачивания вод сквозь горные породы можно обнаружить редкие растения, как, например, покрытый белыми соцветиями багряник западный (*Cercis occidentalis*), эрикамерию (род *Ericameria*) и флаверию Макдугала (*Flaveria macdougalii*).

Выше зоны кустарников пустыни до отметки 1890 м над уровнем моря расположены редколесья из сосны колорадской (*Pinus edulis* Engelm.), также именуемой сосной съедобной за наличие съедобных «кедровых орешков», можжевельника жесткосемянного (*Juniperus osteosperma*) и можжевельника односемянного (*Juniperus monosperma*). Среди редколесья встречаются полынь трехзубчатая (*Artemisia tridentata*), гуттиеррезия мелкоголовчатая (*Gutierrezia microcephala*), хвойник или эфедра (многочисленные представители рода *Ephedra*), агава ютская (*Agave utahensis*), юкка широколистная (*Yucca baccata*) и юкка сизая (*Y. glauca*). Леса из сосны желтой произрастают в диапазоне высот от 1981 до 2500 м над уровнем моря, как на северном, так и по южной каемке каньона. В примеси в сосновых лесах также встречаются

дуб горный (*Quercus gambelii*), робиния новомексиканская (*Robinia neomexicana*), церкокарпус (представители рода *Cercocarpus*), бузина (представители рода *Sambucus*), магония ползучая (*Mahonia repens*) и овсяница (представители рода *Festuca*). Выше 2500 м елово-пихтовые леса представлены елью Энгельмана (*Picea engelmannii* Engelm.), елью голубой или колючей (*Picea pungens*), псевдотсугой Мензиса, пихтой одноцветной (*Abies concolor*), тополем осинообразным (*Populus tremuloides*) и рябиной (*Sorbus dumosa*).



Рис. 11. Юкка гигантская (*Yucca brevifolia* Regel.)
в штате Аризона

НП «Арки», расположенный в штате Юта, представляет собой пустынную местность [10]. Вокруг расположены красноватые гребни, холмы, каменистые дюны и, конечно, арки, имеющие эрозионное происхождение (рис. 10). В парке в среднем выпадает 22,9 см осадков в год. Парк расположен на высотах 1219–1707 м над уровнем моря, а его территория относится к так называемым снежным или высокогорным пустыням.

Многолетним растениям, произрастающим в парке, приходится приспосабливаться к экстремальным условиям пустыни. Кактусы накапливают воду в тканях ствола, колеогина кистистая (*Coleogyne ramosissima*) в засушливое время сбрасывает свои мелкие, кожистые листочки, а юкка (*Yucca*) имеет

стержневой корень до 9,1 м (рис. 11), что дает ей возможность достигать воды глубоко под землей. Для многих растений пустыни также характерно наличие светлоокрашенной листвы, имеющей высокую отражательную способность. Мхи, которые редко ассоциируются с пустыней, также встречаются в парке. Когда вода недоступна, мхи высыхают, переживая таким образом засушливый период, а с выпадением осадков или таянием снегов впитывают воду и возвращаются к жизни. Мхи обычно произрастают в тени более крупных растений или же в криптобиотическом поверхностном слое почвы.

Другой своеобразный метод адаптации к суровым условиям характерен для можжевельника жесткосемянного (*Juniperus osteosperma*). Во время засухи растение перекрывает подачу воды к нескольким ветвям, что ведет к их гибели, но сохраняет жизнь растению в целом.

Требующие значительного количества воды тополиные (*Populus*), ивы (*Salix*) и камыш (*Typha*) встречаются в береговой зоне рек. Среди множества растений кактус, вероятно, лучше других приспособлен к жизни в засушливом климате. В парке найдены девять видов кактусов, которые используют кислотный метаболизм, при котором устьица открываются только ночью, чтобы меньше влаги терялось через транспирацию. В парке также встречается множество видов лишайников, которые хорошо адаптированы для жизни в сухой среде.

Выводы. Без преувеличения все увиденное во время исследований можно отнести к уникальным «Храмам природы» и лучшим примерам человеческого наследия, которые бережно охраняются американцами. Национальные парки западного побережья США обладают большим разнообразием редких и реликтовых растительных сообществ. НП этого региона характерна значительная вертикальная ярусность растительных зон, вызванная наличием горной системы Кордильер. Близость к Тихому океану и особый прибрежный климат территории формируют благоприятные

природные условия для роста лесных насаждений с высокой биологической продуктивностью гигантских деревьев секвойи и псевдотсуги Мензиса.

Мероприятия по борьбе с пожарами проводились на территории национальных парков с начала XX века, но в 70-е годы взгляды на место пожаров в формировании и поддержании экосистем кардинально изменились. На сегодняшний день пожары рассматриваются как неотъемлемый экологический процесс луговых, лесных и альпийских экосистем. В некоторых случаях в национальных парках активно практикуется контролируемый пал.

В национальных парках США создана прекрасная инфраструктура (дороги, магазины, заправочные станции, смотровые площадки, стоянки, кемпинги, пикники и т.п.), что ежегодно вызывает огромный приток туристов в эти места со всего мира. Например, НП «Йеллоустон» ежегодно посещают более трех млн. человек. Такая мобильность позволяет повышать экологическое и патриотическое воспитание населения, а также развивает экологический туризм и повышает внимание к проблемам вырубки лесов. Считаем, что опыт управления национальными парками США необходимо использовать для стратегии развития национальных парков России. Некоторые фотографии из этого проекта можно посмотреть в фотоальбоме на сайте МарГТУ <http://www.marstu.net>.

Список литературы

1. The National Parks: Index 2005-2007 / Produced by the office of public affairs and Harpers ferry centre. National Park Service, 2007. – 124 p.
2. Курбанов, Э.А. Лесоводство. Международное лесное хозяйство : [учеб. пособие для студентов вузов по специальности «Лесн. хоз-во» направления «Лесн. хоз-во и ландшафт. стр-во»] / Э. А. Курбанов, О.Н. Воробьев. – Йошкар-Ола : МарГТУ, 2010. – 230 с.
3. Little, E.L. National Audubon Society: Field guide to North American trees / E.L. Little. – New York: Chanticleer press, Inc., 2007. – 640 p.
4. Despain, D.G. Yellowstone vegetation: Consequences of Environment and History in a Natural Setting / D.G. Despain. – Roberts Rinehart Publishers, 1990. – 239 p.
5. Plants of Crater Lake National Park [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www/URL: http://www.craterlakeinstitute.com/natural-history/index-plants.htm](http://www.craterlakeinstitute.com/natural-history/index-plants.htm) 10.01.2011.
6. Redwood National Park, United States [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www/URL: http://www.eoearth.org/article/Redwood_National_Park,_United_States#gen8](http://www.eoearth.org/article/Redwood_National_Park,_United_States#gen8) 10.01.2011.
7. Natural Vegetation Zones in Yosemite and the Diversity of Plant Life [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www/URL: http://www.suite101.com/content/plants-of-yosemite-national-park-california-a148775](http://www.suite101.com/content/plants-of-yosemite-national-park-california-a148775) 10.01.2011.
8. Plant Life of Sequoia and Kings Canyon National Parks [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www/URL: http://www.nps.gov/archive/seki/snm/vegetation/vegetation.htm](http://www.nps.gov/archive/seki/snm/vegetation/vegetation.htm) 10.01.2011.
9. Plants of the Grand Canyon [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www/URL: http://www.scienceviews.com/parks/grandcanyonplants.html](http://www.scienceviews.com/parks/grandcanyonplants.html) 10.01.2011.
10. Arches National Park. Ecology [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www/URL: http://www.gorp.com/parks-guide/travel-ta-arches-national-park-ecotourism-moab-sidwcmdev_067681.html](http://www.gorp.com/parks-guide/travel-ta-arches-national-park-ecotourism-moab-sidwcmdev_067681.html) 10.01.2011.

Статья поступила в редакцию 10.01.11.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы, ГК № 02.740.11.5202 Министерства образования и науки Российской Федерации «Региональная оценка методов картирования растительного покрова по спутниковым снимкам» и ГК № 02.740.11.0838 «Разработка и реализация алгоритмов передачи, обработки и анализа данных дистанционного зондирования лесных покровов для автоматических расчетов фитомассы растительности и пулов углерода».

*E. A. Kurbanov, M. A. Yatskov, O. N. Vorobyey,
A. V. Gubayev, S. A. Leznin*

EXPERIENCE OF CONSERVATION AND BIODIVERSITY IN NATIONAL PARKS OF THE WEST COAST OF THE USA

Experience of the forest conservation, ecosystems and biological diversity of the national parks in the West Coast region of the USA has been studied. Information about unique, highly productive forest ecosystems dominated by Sequoia and Douglas fir, as well xerophytic vegetation of the desert was provided.

Key words: national park, ecosystem, dendrology, biodiversity, xerophytes, sequoyah, ecological tourism.

КУРБАНОВ Эльдар Аликрамович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства МарГТУ, руководитель Центра устойчивого управления лесами. Область научных интересов – устойчивое управление лесами, биологическая продуктивность лесных экосистем, депонирование углерода лесными экосистемами, дистанционное зондирование земли, леса Киото. Автор более 90 научных и учебно-методических работ.

E-mail: kurbanovea@marstu.net

ЯЦКОВ Михаил Александрович – магистр (Master of Science) в области лесных наук (in Forest Science), аспирант Орегонского университета США (Oregon State University), сотрудник лесной службы департамента сельского хозяйства США Тихоокеанской Северо-Западной исследовательской станции (US Department of Agriculture Forest Service Pacific Northwest Research Station), специалист по обеспечению и контролю качества полевых работ по программе лесной инвентаризации береговой части Аляски (QA/QC Forester for the Forest Inventory and Analysis Program in Coastal Alaska). Область научных интересов – динамика углерода и нарушений в лесных экосистемах, мировая углеродная политика, ведение хозяйства на накопление углерода в лесных экосистемах. Автор 10 публикаций.

E-mail: yatskovm@yahoo.com

ВОРОБЬЕВ Олег Николаевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства МарГТУ. Область научных интересов – дистанционное зондирование лесов, депонирование углерода лесными экосистемами, мониторинг лесных экосистем. Автор более 20 научных и учебно-методических работ.

E-mail: vorobievon@marstu.net

ГУБАЕВ Александр Владимирович – соискатель кафедры лесоводства МарГТУ. Область научных интересов – дистанционное зондирование земли, биологическая продуктивность лесных экосистем. Автор 10 публикаций.

E-mail: galex@marstu.net

ЛЕЖНИН Сергей Анатольевич – аспирант кафедры лесоводства МарГТУ. Область научных интересов – дистанционное зондирование земли, биологическая продуктивность лесных экосистем. Автор 10 публикаций.

E-mail: lejninsa@marstu.net

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

УДК 630:001

ГАЗИЗУЛЛИНУ АХМАДУЛЛЕ ХАДИЕВИЧУ – 80 ЛЕТ

20 марта 2011 года исполнилось 80 лет известному ученому-лесоводу, академику Международной академии наук высшей школы, профессору, доктору сельскохозяйственных наук, заслуженному лесоводу Российской Федерации и Республики Татарстан – Газизуллину Ахмадулле Хадиевичу.



А.Х. Газизуллин родился 20 марта 1931 года в деревне Нижний Арбаш Таканышского района Татарской АССР. В 1945 году после окончания семи классов был командирован на курсы лесных мастеров в город Стерлитамак Башкирский АССР, после окончания которых с 1945 по 1946 гг. работал мастером лесных культур Мешепашского лесничества Сабинского лесхоза Татарской АССР. В 1946 году поступил и в 1949 году с отличием окончил Лубянский лесной техникум, по окончании которого начал работу помощником лесничего Кош-Агачского лесничества Верх-Каштунского лесхоза Алтайского края.

В 1950 году А.Х. Газизуллин был зачислен студентом лесохозяйственного факультета Поволжского лесотехнического института (ПЛТИ, с 1995 года – МарГТУ). В студенческие годы принимал активное участие в научно-исследовательской работе под руководством профессора М.Д. Данилова и доцента В.Н. Смирнова, сочетая ее с активной общественной работой. Был Горьковским стипендиатом, председателем студенческого научного общества лесохозяйственного факультета, в сборниках студенческих научных работ опубликовал три статьи. После окончания с отличием ПЛТИ получил направление в Лубянский лесной техникум, где с 1955 по 1956 гг. работал преподавателем лесоводства и лесоустройства. С августа 1956 года работал лесничим Ромодановского лесничества Баганинского лесхоза ТАССР. За короткий период А.Х. Газизуллин вывел лесничество в число передовых и был назначен в 1959 году на должность главного лесничего Камского мехлесхоза, где работал до 1961 года.

С 1961 по 1964 гг. учился в аспирантуре на кафедре лесных культур и почвоведения Поволжского лесотехнического института под руководством профессора В.Н. Смирнова. В марте 1965 года организовал Татарскую лесную почвенно-химическую производственную лабораторию при Зеленодольском опытно-производственном лесхозе Татарского управления лесного хозяйства. За короткий срок лаборатория была оснащена необходимым оборудованием, укомплектована высококвалифицированными специалистами. В период с 1965 по 1968 гг. было завершено обследование почв базисных питомников лесхозов республики, а к 1973 году было завершено картирование почв 9 лесхозов на площади около 350 тыс. га.

В марте 1973 года на диссертационном совете Казанского государственного университета А.Х. Газизуллин защитил кандидатскую диссертацию на тему «Почвы лесов Нижнего Прикамья Татарской АССР и пути их рационального использования». В декабре 1973 года вернулся в альма-матер, где был избран по конкурсу старшим преподавателем кафедры лесных культур и лесного почвоведения Марийского политехнического института.

С 1973 по 1994 гг. Ахмадулла Хадиевич прошел путь до заведующего кафедрой почвоведения, доктора наук: работал в качестве старшего преподавателя кафедры лесных культур и лесного почвоведения, доцентом и заведующим кафедрой лесного почвоведения и мелиорации почв. В 1994 году в диссертационном совете Марийского государственного технического университета защитил докторскую диссертацию на тему «Почвенно-экологические условия формирования лесов Среднего Поволжья». С 1994 по 1997 гг. работал профессором кафедры экологии, почвоведения и природопользования, а с 1998 по 2001 гг. – заведующим этой же кафедры.

С 2001 года А.Х. Газизуллин работает в Казанском государственном аграрном университете. Руководил там кафедрой лесоводства и экономики лесной отрасли. Сегодня Ахмадулла Хадиевич продолжает свою плодотворную работу в качестве профессора кафедры лесоводства и лесных культур, преподает почвоведение и лесоведение студентам факультета лесного хозяйства и экологии.

А.Х. Газизуллин является крупным специалистом в области лесного почвоведения, лесоведения и лесопользования. Его научная деятельность связана с исследованием почв лесных экосистем. Он внес большой вклад в исследование почв лесов республик Марий Эл, Татарстан, Чувашии, а также Ульяновской, Самарской и Нижегородской областей. Научное направление А.Х. Газизуллина – установление диагностических признаков, генезиса, классификационного положения и лесорастительных свойств почв; изучение взаимосвязей почвенного покрова и почвенно-экологических условий с лесной растительностью; разработка научных основ повышения, продуктивности и устойчивости лесных экосистем; защита почвенного покрова от деградации при лесопользовании, сохранение биоразнообразия лесных биогеоценозов, рациональное лесопользование и воспроизводство лесных ресурсов.

В результате многолетних исследований лесов и лесных почв региона в зоне смешанных и широколиственных лесов А.Х. Газизуллиным обосновано выделение самостоятельного типа коричнево-бурых лесных почв, сформировавшихся на красноцветных отложениях пермской системы, широко распространенных в условиях Среднего Поволжья.

А.Х. Газизуллин поддерживает тесные связи с производством. Им разработаны и внедрены рекомендации по оптимизации использования и воспроизводства лесных ресурсов в Республике Татарстан. Под его руководством и при личном участии проведено картирование почв лесхозов региона на площади более 350 тыс. га.

Большая часть научной и трудовой деятельности юбиляра прошла в Марийском государственном техническом университете. Работая здесь, ученый принимал активное участие в разработке научно-исследовательских тем. Под его руководством в 1976–1980 гг. выполнена важная научная работа «Разработка научных основ повышения народнохозяйственной ценности и рационального использования антропогенных лесов Среднего Поволжья», в 1981–1989 гг. – «Разработка путей интенсификации лесного хозяйства и охраны природы в Среднем Поволжье». Заметный вклад он внес в выполненную коллективом ученых комплексную программу «Марийский лес». С 1990 по 2000 гг. он руководил исследованиями по теме «Почвенно-экологические условия формирования высокопродуктивных, устойчивых лесов в Среднем Поволжье».

А.Х. Газизуллин активно выступает с научными докладами на международных, всероссийских, региональных, республиканских научно-технических конференциях по проблемам лесного почвоведения, повышения продуктивности и устойчивости лесных экосистем, ведению лесного хозяйства и лесопользованию. Им опубликовано более 250 научных и научно-методических работ, в том числе 5 монографий, 3 учебных пособия, 10 статей в журнале РАН «Почвоведение», 2 – в журнале «Лесоведение», 6 статей на английском языке в журналах «Soviet soil science» и «Eurian soil science», издаваемых в США.

С 1979 по 2001 г. А.Х. Газизуллин был председателем Марийского отделения Докучаевского общества почвоведов России при РАН, является членом редколлегии межвузовского сборника научных трудов «Лесное хозяйство Поволжья», редактором сборника и членом редколлегии научных трудов Марийского государственного технического университета «Экология и леса Поволжья».

А.Х. Газизуллин успешно работает по подготовке научных кадров высшей квалификации. При его научном руководстве семь аспирантов и соискателей успешно защитили кандидатские диссертации и один – докторскую. Он активно участвует в аттестации научных кадров страны, являясь членом двух докторских диссертационных советов.

А.Х. Газизуллин вносит существенный вклад в подготовку высококвалифицированных специалистов лесного хозяйства. Под его руководством успешно защитили дипломные работы и проекты 215 инженеров лесного хозяйства. Многие его ученики работают директорами лесхозов, главными лесничими, лесничими, стали видными учеными лесной отрасли.

За успехи в производственной и научно-педагогической работе А.Х. Газизуллин награжден юбилейной медалью Докучаевского общества почвоведов России, медалью «Ветеран труда», знаками «За сбережение и преумножение лесных богатств РСФСР», «За отличные успехи в работе». Ему присвоены высокие звания «Заслуженный лесовод Республики Татарстан», «Заслуженный лесовод Российской Федерации», «Почетный работник высшего профессионального образования России».

Факультет лесного хозяйства и экологии, кафедра экологии, почвоведения и природопользования МарГТУ сердечно поздравляют юбиляра и желают ему здоровья, долгих лет жизни для исполнения всех намеченных творческих и жизненных планов.

А.В. Кусакин, Ю.Г. Мальков, Н.Б. Нуреев

Статья поступила в редакцию 25.03.11.

A. V. Kusakin, Yu. G. Malkov, N. B. Nureev

GAZIZULLIN AKHMADULLA KHADIEVICH IS 80

Gazizullin Akhmadulla Khadievich, a noted research forester, an International Higher Education Academy of Sciences Academician, professor, Doctor of Agricultural Science, Honoured forester of the Russian Federation and the Republic of Tatarstan is 80 years old on 20 March 2011.

КУСАКИН Александр Васильевич – кандидат сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой экологии, почвоведения и природопользования МарГТУ. Область научных интересов – охрана и рациональное использование торфоболот. Автор более 130 публикаций.

E-mail: KusakinAV@marstu.net

МАЛЬКОВ Юрий Гаврилович – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии, почвоведения и природопользования, декан факультета лесного хозяйства и экологии МарГТУ. Область научных интересов – повышение санитарно-гигиенической эффективности городских зеленых насаждений, благоустройство лесных ландшафтов рекреационных зон рубками. Автор 42 публикаций.

E-mail: MalkovYG@marstu.net

НУРЕЕВ Наиль Билалович – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии, почвоведения и природопользования МарГТУ. Область научных интересов – изучение взаимосвязей почвенно-экологических условий с лесной растительностью. Автор 38 публикаций.

E-mail: NureevNB@marstu.net

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Редакция журнала «Вестник МарГТУ». Серия «Лес. Экология. Природопользование» принимает к публикации статьи, соответствующие профилю издания по рубрикам:

«**Лесное хозяйство**» – 06.03.01 Лесные культуры, селекция, семеноводство; 06.03.02 Лесоведение и лесоводство, лесостроительство и лесная таксация; 06.03.03 Агроресомелиорация и защитное лесоразведение, озеленение населенных пунктов, лесные пожары и борьба с ними.

«**Технологии и машины лесного дела**» – 05.21.01 Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства; 05.21.05 Древесиноведение, технология и оборудование деревопереработки; 05.23.11 Проектирование и строительство дорог.

«**Проблемы экологии и рационального природопользования**» – 03.02.08 «Экология (технические науки: в транспорте, в энергетике, в строительстве и ЖКХ)»; 03.02.14 Биологические ресурсы (биологические и сельскохозяйственные науки); 03.01.06 Биотехнология (в том числе бионанотехнологии).

Статья должна содержать только оригинальный материал, отражающий результаты завершённых исследований автора, ранее не публиковавшихся, объемом 6–15 страниц, включая рисунки.

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).

Требования к оригиналам предоставляемых 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 предоставлена в электронном виде и компьютерной распечатке (2 экз.) на бумаге формата А4. Шрифт Times New Roman, размер шрифта 12 пт, межстрочный интервал одинарный. Поля: внутри – 2 см, верхнее, нижнее, снаружи – 3 см (зеркальные поля), абзацный отступ первой строки на 0,75 см.

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

Далее размещается аннотация (выравнивание по ширине, размер шрифта 12 пт, курсив, отступ слева и справа 1 см). Аналогично оформляются ключевые слова. Аннотация и ключевые слова статьи предоставляются на **русском и английском языках**.

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

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, ученая степень, должность, область научных интересов, количество опубликованных работ, телефон, e-mail, домашний адрес.

К статье прилагаются следующие документы:

- экспертное заключение о возможности опубликования;
- рекомендация кафедры;
- отзыв научного руководителя (если автор является аспирантом или соискателем).

Материалы, не соответствующие вышеуказанным требованиям, не рассматриваются.

Адрес для переписки: 424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина 3, МарГТУ,
редакция журнала «Вестник МарГТУ», e-mail: vestnik@marstu.net

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Подробнее – на сайте МарГТУ: <http://www.marstu.net>