

# ВЕСТНИК 1(14) 2012

## 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:

ФГБОУ 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

Редактор *Т. А. Рыбалка*

Дизайн обложки *Л. Г. Маланкина*

Компьютерная верстка

*А. А. Кислицын*

Перевод на английский язык

*М. А. Шалагина*

Подписано в печать 20.04.12.

Формат 60×84 1/8. Усл. п. л. 13,75.

Тираж 500 экз. Заказ № 38

Цена свободная

Марийский государственный

технический университет

424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Отпечатано с готового оригинал-макета

в ООО «ОТК Пресс»

424007, Йошкар-Ола,

ул. Строителей, 95

#### 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

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

- В. П. Бессчетнов, Н. Н. Бессчетнова.** Сравнительная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной по параметрам семян
- С. А. Денисов, К. К. Калинин, В. П. Бессчетнов, Н. В. Демичева, Т. С. Батухтина, В. В. Самоделькина.** Проблемы воспроизводства сосновых лесов Среднего Поволжья
- Н. В. Панюшкина, М. А. Карасева, Ю. П. Демаков, М. В. Бекмансуров, В. Н. Карасев.** Распространение и структура ценопопуляций можжевельника в Республике Марий Эл

### ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

- Ю. В. Лоскутов.** Расчёт конструкций композитных трубопроводов для гидромеханизации дноуглубительных работ по улучшению лесосплавных путей
- А. И. Павлов, И. А. Полянин, П. Ю. Лощёнов.** Теоретические исследования динамических свойств элементов гидропривода лесных машин при диагностировании в функциональном режиме
- М. Г. Салихов, В. В. Савельев, Е. В. Веюков, О. Г. Ермакова.** Изучение деформативных и прочностных свойств и структурообразования цементобетонов с добавками асфальтового гранулята
- Ю. А. Ширнин, И. А. Полянин, А. Ю. Ширнин, А. Ю. Витренко.** Технология разработки лесных территорий нефтегазотрубопроводов
- В. П. Сапцин, Б. Ф. Лаврентьев.** Режимы движения камеры транспортного судоподъёмника для перевозки лесных грузов

### ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

- А. В. Исаев, Г. А. Богданов.** Современное состояние сети особо охраняемых природных территорий в Республике Марий Эл
- Н. А. Разумников, В. И. Таланцев, И. Н. Разумников.** Закономерности накопления биомассы листьев элеутерококка колючего и содержания в них микроэлементов
- И. Н. Смоленская, О. В. Решетняк, Е. С. Суханова, С. Ю. Воевудская, А. М. Носов.** Увеличение синтеза гинзенозидов в суспензионной культуре клеток женьшеня настоящего при действии регуляторов роста
- М. В. Титова, О. В. Решетняк, Е. А. Осипова, Е. С. Суханова, А. И. Осипьянц, Н. А. Шумило, А. В. Орешиников, А. М. Носов.** Глубинное культивирование клеток *Stephania Glabra* (Roxb) Miers: оптимизация гормонального состава питательных сред

### ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

- Международная научная конференция NASA и семинар GOFС-GOLD/NEESPI «Влияние аномальной погоды на природные, социально-экономические и искусственные системы: засуха 2010 г. в Поволжье России» (17-22 июня 2012 г., Йошкар-Ола)

Информация для авторов

## CONTENTS

### FORESTRY

- V. P. Besschetnov, N. N. Besschetnova.** Benchmark of elite trees of scotch pine by seeds characteristics
- 3
- S. A. Denisov, K. K. Kalinin, V. P. Besschetnov, N. V. Demicheva, T. S. Batukhtina, V. V. Samodelkina.** Problem of pine forests regeneration in the Middle Volga region
- 12
- N. V. Panushkina, M. A. Karaseva, Yu. P. Demakov, M. V. Bekmansurov, V. N. Karasev.** Ground cedar cenopopulations structure and distribution in the Republic of Mari El
- 24

### FORESTRY TECHNOLOGIES AND MACHINES

- Yu. V. Loskutov.** Composite pipings structures calculation for hydromechanization of dredging works in floating routes improvement
- 35
- A. I. Pavlov, I. A. Polyinin, P. Yu. Loshchenov.** Theoretical research of dynamic properties of elements of hydraulic actuator of wood cars when diagnosing at the functional mode
- 44
- M. G. Salikhov, V. V. Savelyev, E. V. Veukov, O. G. Ermakova.** Research of structure formation and stress-strain properties of cement concrete with additives from granular asphalt
- 53
- Yu. A. Shirnin, I. A. Polyinin, A. Yu. Shirnin, A. Yu. Vitrenko.** Technology of development of oil and gas pipeline routes in forests
- 59
- V. P. Saptsin, B. F. Lavrentyev.** Ecological motion operations of the transporting inclined planes chamber for timber freights shipping
- 65

### PROBLEMS IN ECOLOGY AND RATIONAL NATURE EXPLOITATION

- A. V. Isaev, G. A. Bogdanov.** Present-day situation in the natural areas under special protection in the Republic of Mari El
- 75
- N. A. Razumnikov, V. I. Talantsev, I. N. Razumnikov.** Regularities of spiny eleuterococcus leaves biomass accumulation and trace substances content in it
- 87
- I. N. Smolenskaya, O. V. Reshetnyak, E. S. Sukhanova, S. Yu. Voevudskaya, A. M. Nosov.** Ginsenosides synthesis increase in panax ginseng suspension cell culture with the growth regulator in action
- 96
- M. V. Titova, O. V. Reshetnyak, E. A. Osipova, E. S. Sukhanova, A. I. Osipyantz, N. A. Shumilo, A. V. Oreshnikov, A. M. Nosov.** Profound cultivation of *Stephania Glabra* (Roxb) Miers cells: optimization of phytohormones content of nutritive medium
- 101

### DATES. EVENTS. COMMENTS

- International scientific conference NASA and GOFС-GOLD/NEESPI workshop «Impacts of extreme weather on natural, socio-economic and land-use systems: focus on the 2010 summer anomaly in the Volga region» (17-22 June 2012, Yoshkar-Ola)
- 108

Information for the authors

119

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630\*165.6 + 630\*232.311.3

*В. П. Бессчетнов, Н. Н. Бессчетнова*

### СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПЛЮСОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПО ПАРАМЕТРАМ СЕМЯН

*Изменчивость параметров семян плюсовых деревьев сосны обыкновенной обусловлена генотипически. Различия зафиксированы на объектах постоянной лесосеменной базы, созданных в Нижегородской области. На проявление разнообразия заметное влияние оказывают факторы среды и качество прививок.*

**Ключевые слова:** *сосна обыкновенная, плюсовые деревья, клоны, линейные параметры и масса семян, дисперсионный анализ.*

**Введение.** Совершенствование отечественной системы лесного семеноводства предполагает создание и развитие постоянной лесосеменной базы (ПЛСБ) на селекционно-генетической основе [1–7]. Успех её функционирования во многом определяется качеством и широтой сформированного ассортимента плюсовых деревьев [8–12]. Их важнейшими характеристиками служат показатели репродуктивной активности, морфометрические признаки и посевные качества семян [5–14]. Сведения по этим вопросам традиционно составляют предмет активного научного поиска и многочисленных публикаций [8–14]. Вместе с тем подобная информация по Нижегородской области весьма ограничена, несмотря на то, что здесь в большом количестве были заложены лесосеменные плантации (ЛСП) первого порядка, лесосеменные плантации повышенной генетической ценности (ЛСП ПГЦ), архивы клонов, испытательные и географические культуры важнейших древесных пород [7, 15]. В соответствии с этим на кафедре лесных культур Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии проведено изучение признаков семян плюсовых деревьев сосны обыкновенной, размещенных в объектах постоянной лесосеменной базы (ПЛСБ), развернутых в Нижегородской области.

**Цель работы** – установить морфометрические параметры семян плюсовых деревьев сосны обыкновенной, входящих в состав объектов ПЛСБ и ЕГСК Нижегородской области, и оценить степень наследственной обусловленности различий между ними.

**Предмет исследования** – генотипическая обусловленность специфики плюсовых деревьев сосны обыкновенной по морфометрическим признакам семян.

**Методы и объекты исследования.** Объектом исследований выступали одновозрастные клоны плюсовых деревьев сосны обыкновенной, сосредоточенные в их архи-

вах и представленные на лесосеменных плантациях государственного бюджетного учреждения Нижегородской области «Семеновский спецлесхоз». Каждое плюсовое дерево (ортет) представлено 3 – 11 своими клонами (раметами), выступавшими учетными деревьями, с каждого из которых одновременно собирали нормально развитые неповрежденные шишки в количестве до 60 штук. Первичной единицей выборки в опыте выступало отдельное не обескрыленное семя. Сроки заготовки приурочены к фазе изменения окраски шишек (ноябрь). Первоначально их сушили свободно при комнатной температуре в течение 6 месяцев, после чего – в сушильных шкафах с температурным режимом 40°C. Семена извлекали вручную из каждой шишки отдельно путем их механического разрушения. Поврежденные, пустые, щуплые, недоразвитые семена отбраковывали. Длину и ширину семян и их крылышек измеряли с точностью до 0,5 мм, массу определяли с точностью до 0,001 г. Кроме признаков непосредственного учета анализировались производные признаки: коэффициент формы семени как отношение длины семени к его ширине («форма семени»); коэффициент плотности семени как отношение массы семени к произведению его длины на ширину («плотность семени»); коэффициент формы крылышка как отношение его длины к соответствующей ширине («форма крылышка»); коэффициент площади крылышка как произведение длины на ширину («площадь крылышка»). Схема опыта обеспечивала построение неравномерных непропорциональных иерархических комплексов. Исходная информация по ним обрабатывалась статистически с выполнением однофакторного и двухфакторного дисперсионного анализа.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Плюсовые деревья, представленные на объектах анализа своими одновозрастными клонами, заметно различались по линейным параметрам и массе семян, длине и ширине их крылышек, а также производными признаками.

Расхождения в средних значениях анализируемых признаков плюсовых деревьев проявились на всех обследованных объектах ПЛСБ. На каждом из них степень несопадений при одновременном учете оказалась неодинаковой, что вполне контрастно проявилось на ЛСП 24. При этом линейные параметры семян достаточно выровнены. Наибольшая средняя длина (0,51 см – К-206) лишь в 1,35 раза превосходит наименьшую (0,37 см – К-98), а максимум средних значений ширины (0,31 см – К-108) превышает минимум средних значений признака (0,25 см – К-22) только в 1,28 раза. Заметно выше изменчивость массы семян: наибольшее среднее значение (0,0082 г – К-210) в 2,2 раза превосходит наименьший показатель (0,0037 г – К-22). Линейные параметры крылышка семени, коэффициенты формы семян и крылаток, а также другие производные признаки весьма стабильны и по разбросу значений средних приближаются к линейным параметрам семян. По остальным обследованным лесосеменным плантациям (ЛСП № 18/1, ЛСП № 18/2), а также при оценках параметров в другие годы (ЛСП № 24 в 2006 и 2009 гг.) удастся сделать сходные заключения как в отношении масштабов значений, так и в плане их варьирования.

Проведение однофакторного дисперсионного анализа позволило установить существенность отмеченных различий по всем анализируемым признакам (табл. 1).

Как свидетельствуют материалы табл. 1, по всем анализируемым признакам в комплексах клонов плюсовых деревьев, введенных в состав объектов ПЛСБ, опытные критерии Фишера превосходят свои табличные величины как на пятипроцентном, так и на однопроцентном уровне значимости. Наименьшая существенная разность и D-критерий Тьюки обозначают критический порог существенности различий и позволяют установить, между какими вегетативными потомствами он будет превышен.

Т а б л и ц а 1

**Оценки различий между плюсовыми деревьями сосны обыкновенной по параметрам семян**

Признаки	Критерий Фишера		Доля влияния фактора ( $h^2 \pm s_{h2}$ )				НСР <sub>05</sub>	D <sub>05</sub> критерий Тьюки
			по Плохинскому		по Снедекору			
	F <sub>оп</sub>	F <sub>05</sub> / F <sub>01</sub>	h <sup>2</sup>	± s <sub>h2</sub>	h <sup>2</sup>	± s <sub>h2</sub>		
ЛСП № 24 (урожай 2009 г.)								
Длина семени	57,75	1,45/1,69	0,3982	0,0069	0,3987	0,0069	0,0132	0,0239
Ширина семени	25,40	1,45/1,69	0,2254	0,0089	0,2219	0,0089	0,0096	0,0173
Масса семени	15,03	1,45/1,69	0,1469	0,0098	0,1409	0,0098	0,0007	0,0013
Форма семени	15,16	1,45/1,69	0,1480	0,0098	0,1419	0,0098	0,0639	0,1153
Плотность семени	5,56	1,45/1,69	0,0599	0,0108	0,0506	0,0109	0,0056	0,0101
Длина крылышка	50,79	1,45/1,69	0,3679	0,0072	0,3677	0,0072	0,0637	0,1149
Ширина крылышка	15,99	1,45/1,69	0,1549	0,0097	0,1490	0,0098	0,0227	0,0409
Форма крылышка	30,35	1,45/1,69	0,2581	0,0085	0,2552	0,0085	0,1526	0,2753
Площадь крылышка	29,85	1,45/1,69	0,2549	0,0085	0,2520	0,0086	0,0626	0,1129
ЛСП № 24 (урожай 2006 г.)								
Длина семени	29,55	1,43/1,64	0,1479	0,0050	0,1468	0,0050	0,0110	0,0199
Ширина семени	13,71	1,43/1,64	0,0745	0,0054	0,0711	0,0055	0,0092	0,0167
Масса семени	16,05	1,43/1,64	0,0861	0,0054	0,0831	0,0054	0,4428	0,7988
Форма семени	15,28	1,43/1,64	0,0823	0,0054	0,0792	0,0054	0,0692	0,1249
Плотность семени	9,77	1,43/1,64	0,0543	0,0056	0,0502	0,0056	4,6983	8,4750
Длина крылышка	51,65	1,43/1,64	0,2328	0,0045	0,2338	0,0045	0,0455	0,0821
Ширина крылышка	17,66	1,43/1,64	0,0940	0,0053	0,0912	0,0053	0,0167	0,0302
Форма крылышка	18,02	1,43/1,64	0,0957	0,0053	0,0930	0,0053	0,1276	0,2301
Площадь крылышка	37,97	1,43/1,64	0,1823	0,0048	0,1821	0,0048	0,0414	0,0746
ЛСП № 18/1 – поле 1 (урожай 2006 г.)								
Длина семени	18,65	1,46/1,69	0,1102	0,0059	0,1042	0,0059	0,0129	0,0232
Ширина семени	15,80	1,46/1,69	0,0950	0,0060	0,0922	0,0060	0,0108	0,0195
Масса семени	10,69	1,46/1,69	0,0663	0,0062	0,0601	0,0062	0,4805	0,8668
Форма семени	13,30	1,46/1,69	0,0811	0,0061	0,0750	0,0061	0,0753	0,1358
Плотность семени	8,67	1,46/1,69	0,0544	0,0063	0,0481	0,0063	0,0051	0,0091
Длина крылышка	19,97	1,46/1,69	0,1170	0,0059	0,1150	0,0059	0,0529	0,0954
Ширина крылышка	10,31	1,46/1,69	0,0641	0,0062	0,0578	0,0063	0,0194	0,0349
Форма крылышка	11,17	1,46/1,69	0,0690	0,0062	0,0629	0,0062	0,1471	0,2653
Площадь крылышка	15,72	1,46/1,69	0,0945	0,0060	0,9452	0,0004	0,6347	1,1449
ЛСП № 18/2 – поле 2 (урожай 2006 г.)								
Длина семени	25,06	1,46/1,69	0,1547	0,0062	0,1529	0,0062	0,0134	0,0242
Ширина семени	30,27	1,46/1,69	0,1810	0,0060	0,1800	0,0060	0,0116	0,0210
Масса семени	21,49	1,46/1,69	0,1356	0,0063	0,1332	0,0063	0,4497	0,8113
Форма семени	25,99	1,46/1,69	0,1595	0,0061	0,1578	0,0061	0,0697	0,1258
Плотность семени	17,93	1,46/1,69	0,1157	0,0065	0,1127	0,0065	0,0050	0,0089
Длина крылышка	60,20	1,46/1,69	0,3053	0,0051	0,3075	0,0051	0,0601	0,1085
Ширина крылышка	15,69	1,46/1,69	0,1028	0,0066	0,0993	0,0066	0,0181	0,0327
Форма крылышка	37,38	1,46/1,69	0,2144	0,0057	0,2144	0,0057	0,1484	0,2676
Площадь крылышка	40,51	1,46/1,69	0,2282	0,0056	0,2286	0,0056	0,0456	0,0823

Доля влияния организованных факторов, которые в нашем случае определены принадлежностью к тому или иному плюсовому дереву, на ЛСП № 24 составляла от 5,99 (коэффициент плотности семян) до 39,82 % (длина семени). На каждом из опытных участков различия проявились на выровненном фоне экологических условий. Данное обстоятельство обусловлено регламентом создания, выращивания и содержания ЛСП и обеспечивает принципиальную минимизацию влияния внешних факторов на дифференциацию анализируемых растений по учитываемым показателям.

Результат свидетельствует о заметной генотипической обусловленности различий между плюсовыми деревьями по способности формировать семена различных размеров. Показатель длины семян во всех вариантах опыта оказался наиболее подверженным контролю со стороны генотипа. Это обуславливает принципиальную возможность привлечения данного показателя для включения в состав комплекса признаков при многомерной идентификации объектов лесной селекции: плюсовых деревьев, их клонов и семенных репродукций. Вместе с тем влияние неорганизованных факторов, в число которых может быть включена и экологическая обстановка, оказалось преобладающим во всех случаях учета (более 60 %).

Данное обстоятельство указывает на значительную зависимость проявляющейся способности плюсовых деревьев формировать параметры семян от воздействия внешних условий. Оно способно нивелировать разницу в показателях, имеющих генотипическую природу, и предопределяет возможность достаточно больших изменений в фенотипических проявлениях признака. Высокая чувствительность плюсовых деревьев к влиянию внешних условий на формирование параметров семян способна изменить соотношение в показателях определенного набора клонов при учетах в разные сезоны года, характеризующиеся несходными климатическими параметрами.

Эффективность действия всех организованных факторов, вызывающих различия между плюсовыми деревьями в составе ЛСП № 24 по параметрам семян урожая 2009 г., позволила установить двухфакторный иерархический дисперсионный анализ (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

**Оценка существенности различий между плюсовыми деревьями сосны обыкновенной по параметрам семян (ЛСП № 24 урожай 2009 г.)**

Признак	Источник дисперсии (фактор влияния)	Критерий Фишера по факторам		Доля влияния фактора ( $h^2 \pm s_{h^2}$ )			
		$F_{оп}$	$F_{05} / F_{01}$	по Плохинскому		по Снедекору	
				$h^2$	$\pm s_{h^2}$	$h^2$	$\pm s_{h^2}$
Длина семени	различия между ортегами	9,077	1,59/ 1,93	0,3982	0,0071	0,3851	0,0072
	различия между ракетами	7,366	1,32/ 1,48	0,0953	0,0231	0,1146	0,0226
	остаточная дисперсия			0,5065	0,4935	0,5004	0,4996
Ширина семени	различия между ортегами	5,089	1,59/ 1,93	0,2254	0,0091	0,2149	0,0092
	различия между ракетами	5,553	1,32/ 1,48	0,0962	0,0231	0,1105	0,0227
	остаточная дисперсия			0,6784	0,3216	0,6746	0,3254
Масса семени	различия между ортегами	2,966	1,59/ 1,93	0,1469	0,0100	0,1363	0,0102
	различия между ракетами	5,651	1,32/ 1,48	0,1076	0,0228	0,1238	0,0224
	остаточная дисперсия			0,7455	0,2545	0,7399	0,2601
Форма семени	различия между ортегами	2,454	1,59/ 1,93	0,1480	0,0100	0,1362	0,0102
	различия между ракетами	7,118	1,32/ 1,48	0,1310	0,0222	0,1557	0,0215
	остаточная дисперсия			0,7210	0,2790	0,7082	0,2918
Плотность семени	различия между ортегами	1,339	1,59/ 1,93	0,0599	0,0110	0,0497	0,0112
	различия между ракетами	4,519	1,32/ 1,48	0,0972	0,0230	0,1067	0,0228
	остаточная дисперсия			0,8429	0,1571	0,8436	0,1564
Длина крылышка	различия между ортегами	3,658	1,59/ 1,93	0,3679	0,0074	0,3381	0,0078
	различия между ракетами	20,693	1,32/ 1,48	0,2184	0,0199	0,2743	0,0185
	остаточная дисперсия			0,4136	0,5864	0,3876	0,6124
Ширина крылышка	различия между ортегами	3,078	1,59/ 1,93	0,1549	0,0099	0,1441	0,0101
	различия между ракетами	5,820	1,32/ 1,48	0,1093	0,0227	0,1263	0,0223
	остаточная дисперсия			0,7358	0,2642	0,7296	0,2704
Форма крылышка	различия между ортегами	6,648	1,59/ 1,93	0,2581	0,0087	0,2484	0,0088
	различия между ракетами	5,022	1,32/ 1,48	0,0843	0,0234	0,0949	0,0231
	остаточная дисперсия			0,6577	0,3423	0,6567	0,3433
Площадь крылышка	различия между ортегами	2,764	1,59/ 1,93	0,2549	0,0088	0,2343	0,0090
	различия между ракетами	14,402	1,32/ 1,48	0,2002	0,0204	0,2489	0,0192
	остаточная дисперсия			0,5448	0,4552	0,5169	0,4831

В большинстве вариантов опыта различия между собственно плюсовыми деревьями – ортетами (каждое представлено комплексом клонов – рамет) оказались существенными. Опытные критерии Фишера превосходят соответствующие критические значения на пяти- и однопроцентном уровне значимости. Исключение составил коэффициент плотности семени. Влияние фактора «различия между ортетами» достаточно велико: от 14,69 (масса семени) до 39,82 % (длина семени), что соответствует степени наследственной дифференциации ассортимента плюсовых деревьев по рассматриваемым показателям.

Действие различий между раметами заметно меньше и оценивается интервалом от 8,43 (коэффициент формы крылышка) до 21,84 % (длина крылышка). Такой уровень неоднородности соответствует разнице в признаках особей, относящихся к одному клону. С генотипических позиций они однотипны. Одинаковы и условия их произрастания, что обеспечивается методами создания ЛСП вегетативного происхождения. Кроме того принятые приемы тиражирования и режимы выращивания посадочного материала для создания подобных объектов ПЛСБ обеспечивают однотипность его исходных технологических характеристик. Тогда единственной причиной возникновения различий между привитыми клонами одного плюсового дерева (именно этот метод размножения использовался для создания анализируемых объектов) может выступать

Т а б л и ц а 3

**Оценка существенности различий между плюсовыми деревьями сосны обыкновенной по параметрам семян (ЛСП № 24 урожай 2006 г.)**

Признак	Источник дисперсии (фактор влияния)	Критерий Фишера по факторам		Доля влияния фактора ( $h^2 \pm S_{h^2}$ )			
		$F_{оп}$	$F_{05} / F_{01}$	по Плохинскому		по Снедекору	
				$h^2$	$\pm S_{h^2}$	$h^2$	$\pm S_{h^2}$
Длина семени	различия между ортетами	2,374	1,50	0,1479	0,0051	0,0880	0,0055
	различия между раметами	18,145	1,20	0,2831	0,0197	0,3261	0,0185
	остаточная дисперсия			0,5690	0,4310	0,5859	0,4141
Ширина семени	различия между ортетами	1,252	1,50	0,0745	0,0056	0,0154	0,0059
	различия между раметами	15,066	1,20	0,2705	0,0200	0,3087	0,0190
	остаточная дисперсия			0,6550	0,3450	0,6759	0,3241
Масса семени	различия между ортетами	2,676	1,50	0,0861	0,0055	0,0555	0,0057
	различия между раметами	6,947	1,20	0,1462	0,0234	0,1528	0,0232
	остаточная дисперсия			0,7677	0,2323	0,7916	0,2084
Форма семени	различия между ортетами	1,392	1,50	0,0823	0,0055	0,0239	0,0059
	различия между раметами	15,095	1,20	0,2686	0,0201	0,3064	0,0190
	остаточная дисперсия			0,6491	0,3509	0,6697	0,3303
Плотность семени	различия между ортетами	1,382	1,50	0,0543	0,0057	0,0154	0,0059
	различия между раметами	8,484	1,20	0,1785	0,0225	0,1925	0,0221
	остаточная дисперсия			0,7673	0,2327	0,7921	0,2079
Длина крылышка	различия между ортетами	2,885	1,50	0,2328	0,0046	0,1559	0,0051
	различия между раметами	33,362	1,20	0,3665	0,0174	0,4325	0,0156
	остаточная дисперсия			0,4007	0,5993	0,4116	0,5884
Ширина крылышка	различия между ортетами	2,559	1,50	0,0940	0,0055	0,0589	0,0057
	различия между раметами	8,234	1,20	0,1668	0,0228	0,1790	0,0225
	остаточная дисперсия			0,7392	0,2608	0,7621	0,2379
Форма крылышка	различия между ортетами	1,590	1,50	0,0957	0,0055	0,0366	0,0058
	различия между раметами	15,805	1,20	0,2734	0,0199	0,3128	0,0188
	остаточная дисперсия			0,6309	0,3691	0,6507	0,3493
Площадь крылышка	различия между ортетами	3,505	1,50	0,1823	0,0049	0,1338	0,0052
	различия между раметами	14,829	1,20	0,2363	0,0209	0,2684	0,0201
	остаточная дисперсия			0,5813	0,4187	0,5978	0,4022

качество работ при их выполнении, как впрочем, и индивидуальное состояние подвоя и привоя, а также специфика их взаимодействия. Это может в значительной мере определять успешность их срастания и последующее развитие. Остаточная дисперсия, которую можно связывать с влиянием факторов среды, преобладает во всех случаях: от 41,36 (длина крылышка) до 84,29 % (коэффициент плотности семени). В целом материалы двухфакторного иерархического дисперсионного анализа по параметрам семян соответствуют оценкам генотипической обусловленности различий между плюсовыми деревьями, проявившимся на объектах ПЛСБ и отмеченных в ходе однофакторного анализа (см. табл. 1, 2). При этом он позволил вычленить долю влияния такого фактора как «различия между раметами». По другим опытным участкам результаты подобного анализа приведены в табл. 3–5.

Т а б л и ц а 4

**Оценка существенности различий между плюсовыми деревьями  
сосны обыкновенной по параметрам семян (ЛСП № 18/1 урожай 2006 г.)**

Признак	Источник дисперсии (фактор влияния)	Критерий Фишера по факторам		Доля влияния фактора ( $h^2 \pm s_{h^2}$ )			
		$F_{оп}$	$F_{05} / F_{01}$	по Плохинскому		по Снедекору	
				$h^2$	$\pm s_{h^2}$	$h^2$	$\pm s_{h^2}$
Длина семени	различия между ортегами	1,68	1,57/1,89	0,1031	0,0052	0,0975	0,0053
	различия между раметами	17,66	1,24/1,36	0,3002	0,0199	0,3224	0,0193
	остаточная дисперсия			0,5968	0,4032	0,5801	0,4199
Ширина семени	различия между ортегами	1,29	1,57/1,89	0,0908	0,0053	0,0849	0,0053
	различия между раметами	21,53	1,24/1,36	0,3456	0,0186	0,3720	0,0179
	остаточная дисперсия			0,5636	0,4364	0,5431	0,4569
Масса семени	различия между ортегами	1,21	1,57/1,89	0,0536	0,0055	0,0493	0,0055
	различия между раметами	10,39	1,24/1,36	0,2161	0,0223	0,2268	0,0220
	остаточная дисперсия			0,7303	0,2697	0,7239	0,2761
Форма семени	различия между ортегами	1,29	1,57/1,89	0,0672	0,0054	0,0626	0,0055
	различия между раметами	13,21	1,24/1,36	0,2550	0,0212	0,2713	0,0207
	остаточная дисперсия			0,6777	0,3223	0,6660	0,3340
Плотность семени	различия между ортегами	0,82	1,57/1,89	0,0404	0,0056	0,0360	0,0056
	различия между раметами	11,82	1,24/1,36	0,2417	0,0216	0,2557	0,0212
	остаточная дисперсия			0,7179	0,2821	0,7083	0,2917
Длина крылышка	различия между ортегами	1,01	1,57/1,89	0,1059	0,0052	0,0972	0,0053
	различия между раметами	47,25	1,24/1,36	0,5129	0,0139	0,5477	0,0129
	остаточная дисперсия			0,3812	0,6188	0,3551	0,6449
Ширина крылышка	различия между ортегами	1,30	1,57/1,89	0,0621	0,0055	0,0576	0,0055
	различия между раметами	11,61	1,24/1,36	0,2331	0,0218	0,2463	0,0215
	остаточная дисперсия			0,7049	0,2951	0,6960	0,3040
Форма крылышка	различия между ортегами	0,85	1,57/1,89	0,0635	0,0055	0,0582	0,0055
	различия между раметами	22,61	1,24/1,36	0,3668	0,0180	0,3945	0,0172
	остаточная дисперсия			0,5697	0,4303	0,5473	0,4527
Площадь крылышка	различия между ортегами	1,28	1,57/1,89	0,0890	0,0053	0,0832	0,0053
	различия между раметами	20,80	1,24/1,36	0,3389	0,0188	0,3646	0,0181
	остаточная дисперсия			0,5721	0,4279	0,5521	0,4479

Как показывают материалы табл. 3–5, тенденции, вскрытые при анализе комплекса плюсовых деревьев, составляющих ассортимент ЛСП № 24 (урожай 2009 г.), принципиально сохранились на ЛСП № 18/1, ЛСП № 18/2; не изменили основных черт и при сопоставлении результатов анализа параметров семян урожаев 2006 и 2009 гг. на ЛСП № 24.

Т а б л и ц а 5

**Оценка существенности различий между плюсовыми деревьями  
сосны обыкновенной по параметрам семян (ЛСП № 18/2 урожай 2006 г.)**

Признак	Источник дисперсии (фактор влияния)	Критерий Фишера по факторам		Доля влияния фактора ( $h^2 \pm S_{h^2}$ )			
		$F_{оп}$	$F_{05} / F_{01}$	по Плохинскому		по Снедекору	
				$h^2$	$\pm S_{h^2}$	$h^2$	$\pm S_{h^2}$
Длина семени	различия между ортемами	2,178	1,50/1,80	0,1547	0,0063	0,1448	0,0064
	различия между раметами	16,012	1,24/1,36	0,2536	0,0200	0,2852	0,0191
	остаточная дисперсия			0,5917	0,4083	0,5700	0,4300
Ширина семени	различия между ортемами	1,761	1,50/1,80	0,1810	0,0061	0,1658	0,0063
	различия между раметами	30,332	1,24/1,36	0,3670	0,0169	0,4124	0,0157
	остаточная дисперсия			0,4520	0,5480	0,4218	0,5782
Масса семени	различия между ортемами	1,809	1,50/1,80	0,1356	0,0065	0,1260	0,0066
	различия между раметами	16,758	1,24/1,36	0,2677	0,0196	0,3010	0,0187
	остаточная дисперсия			0,5967	0,4033	0,5730	0,4270
Форма семени	различия между ортемами	1,990	1,50/1,80	0,1595	0,0063	0,1483	0,0064
	различия между раметами	19,286	1,24/1,36	0,2862	0,0191	0,3225	0,0181
	остаточная дисперсия			0,5543	0,4457	0,5291	0,4709
Плот- ность семени	различия между ортемами	1,889	1,50/1,80	0,1157	0,0066	0,1080	0,0067
	различия между раметами	12,285	1,24/1,36	0,2188	0,0209	0,2438	0,0202
	остаточная дисперсия			0,6654	0,3346	0,6482	0,3518
Длина кры- лышка	различия между ортемами	2,276	1,50/1,80	0,3053	0,0052	0,2741	0,0054
	различия между раметами	83,048	1,24/1,36	0,4792	0,0139	0,5316	0,0125
	остаточная дисперсия			0,2155	0,7845	0,1944	0,8056
Ширина кры- лышка	различия между ортемами	2,063	1,50/1,80	0,1028	0,0067	0,0961	0,0068
	различия между раметами	9,243	1,24/1,36	0,1780	0,0220	0,1948	0,0216
	остаточная дисперсия			0,7192	0,2808	0,7091	0,2909
Форма кры- лышка	различия между ортемами	2,032	1,50/1,80	0,2144	0,0059	0,1965	0,0060
	различия между раметами	34,425	1,24/1,36	0,3768	0,0167	0,4234	0,0154
	остаточная дисперсия			0,4088	0,5912	0,3800	0,6200
Площадь кры- лышка	различия между ортемами	2,363	1,50/1,80	0,2282	0,0058	0,2110	0,0059
	различия между раметами	30,201	1,24/1,36	0,3450	0,0175	0,3892	0,0164
	остаточная дисперсия			0,4267	0,5733	0,3998	0,6002

### Выводы

1. Плюсовые деревья сосны обыкновенной, представленные своими клонами на лесосеменных плантациях, существенно различаются по морфометрическим характеристикам семян и их крылышек. Выявленная дифференциация ассортиментного состава

рассматриваемых объектов ПЛСБ устойчива и проявляется на каждом из обследованных участков в течение продолжительного времени.

2. Отмеченная неоднородность вегетативного потомства плюсовых деревьев в значительной мере обусловлена генотипически, что подтвердили результаты однофакторного и двухфакторного иерархического дисперсионного анализа.

3. Линейные параметры и масса семян, линейные параметры их крылышек, а также производные признаки клонов плюсовых деревьев зависят от факторов среды, доля влияния которых составляет 41,36 – 84,29 %. Компонент дисперсии, связанной с различиями между раметами, заметно меньше и оценивается пределами 8,43 – 21,84 %. Его возникновение объясняется преимущественно разнокачественностью прививок.

4. Наследственный характер контрастных различий между плюсовыми деревьями по морфометрическим параметрам семян и их крылышек предопределяет целесообразность привлечения данных признаков для осуществления многомерной идентификации объектов лесной селекции.

### Список литературы

1. Коновалов, Н. А. Основы лесной селекции и сортового семеноводства / Н.А. Коновалов, Е.А. Пугач. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 176 с.
2. Правдин, Л. Ф. Научные основы организации устойчивой лесосеменной базы / Л.Ф. Правдин, В.П. Яркин // Научные основы селекции хвойных древесных пород. – М.: Наука, 1978. – С. 125 – 142.
3. Пирагс, Д. М. Лесосеменные плантации: их настоящее и будущее / Д. М. Пирагс // Семенные плантации в лесном семеноводстве / Сб. тр. НПО «Силава». – Рига: Зинатне, 1985. – С. 3 – 10.
4. Яркин, В. П. Долгосрочная программа создания постоянной лесосеменной базы на селекционной основе / В.П. Яркин // Лесное хозяйство. – 1990. – № 11. – С. 34 -36.
5. Ефимов Ю. П. О новой категории семенных плантаций древесных пород в лесном семеноводстве России / Ю.П. Ефимов // Селекция, генетические ресурсы и сохранение генофонда лесных древесных растений (Вавиловские чтения) / Матер. Междунар. научн. конф. – Сб. науч. тр. ИЛ НАН Беларуси. – Вып. 59. – Гомель, 2003. – С. 200 – 204.
6. Ефимов, Ю. П. Семенные плантации в селекции и семеноводстве сосны обыкновенной / Ю.П. Ефимов. – Воронеж: Истоки, 2010. – 253 с.
7. Рутковский, И.В. Состояние лесного семеноводства и перспективы его развития / И.В. Рутковский // Пятый всероссийский съезд лесоводов (25 - 27 февраля 2003 г.). – М.: ВНИИЛМ, 2003. – С. 190 – 194.
8. Роне, В. М. Генетическое улучшение свойств лесных древесных видов на семенных плантациях / В.М. Роне // Семенные плантации в лесном семеноводстве / Сб. тр. НПО «Силава». – Рига: Зинатне, 1985. – С. 12 – 21.
9. Роне, В. М. Генетический анализ лесных популяций / М.В. Роне/. – М.: Наука, 1980. – 160 с.
10. Петров, С. А. Система плюсовой селекции / С.А. Петров // Разработка основ систем селекции древесных пород: Тез. докл. совещания. Ч. I. – Рига: Зинатне, 1981. – С. 103 – 105.
11. Потылев, В. Г. Проблемы лесного селекционного семеноводства / В.Г. Потылев // Лесохозяйственная информация. – 1997. – № 3. – С. 14 – 30.
12. Царев, А. П. Вопросы и проблемы плюсовой селекции / А.П. Царев, Н.В. Лаур // Лесной вестник. – 2006. – № 5. – С. 118 – 123.
13. Сахаров, В. И. Методы оценки эколого-генетической структуры популяций древесных видов для выбора модели селекции / В.И. Сахаров. – Алматы: «Печатное Дело», 2006. – 384 с.
14. Rogozin, M. V. К вопросу об отборе урожайных деревьев сосны обыкновенной / М.В. Rogozin. – Известия вузов. Лесной журнал. – 1978. – № 6. – С. 8 – 11.
15. Бессчетнов, В. П. Селекционно-генетические аспекты лесного семеноводства / В.П. Бессчетнов, Н.Н. Бессчетнова, А.Н. Орнатский // Труды факультета лесного хозяйства Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии: сборник научных статей / Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия. Нижний Новгород, 2011. – № 1 (1). – С. 5 – 34.

Статья поступила в редакцию 19.01.12.

*V. P. Besschetnov, N. N. Besschetnova*

### **BENCHMARK OF ELITE TREES OF SCOTCH PINE BY SEEDS CHARACTERISTICS**

*Seeds variability of elite trees of scotch pine is explained by genotypic reasons. The differences are fixed at the permanent forest seed facilities in Nizhny Novgorod region. Environmental factors and grafts quality render a telling impact on diversity development*

**Key words:** *Scotch pine, elite trees, clones, linear parameters and seed weight, analysis of variance.*

---

*БЕССЧЕТНОВ Владимир Петрович* – доктор биологических наук, профессор, декан факультета лесного хозяйства, заведующий кафедрой лесных культур Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. Область научных интересов – лесные культуры, селекция и интродукция древесных и кустарниковых видов, проблемы эффективности лесной селекции и совершенствования селекционного потенциала природных популяций и плюсовых деревьев основных лесообразующих пород. Автор более 100 публикаций.

E-mail: lesfak@bk.ru

*БЕССЧЕТНОВА Наталья Николаевна* – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. Область научных интересов – проблемы эффективности лесной селекции и совершенствования селекционного потенциала плюсовых деревьев основных лесообразующих пород. Автор 42 публикаций.

E-mail: besschetnova1966@mail.ru

УДК 630\*

*С. А. Денисов, К. К. Калинин, В. П. Бессчетнов,  
Н. В. Демичева, Т. С. Батухтина, В. В. Самоделкина*

## ПРОБЛЕМЫ ВОСПРОИЗВОДСТВА СОСНОВЫХ ЛЕСОВ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

*Показаны основные пути решения ключевых вопросов естественного воспроизводства сосновых лесов в Среднем Поволжье на примере Республики Марий Эл, Нижегородской и Пензенской областей. Для реализации этих путей требуется перейти от сплошных к преимущественно выборочным рубкам, разработать региональные рекомендации по выбору форм рубок спелого леса и методам лесовосстановления на вырубках и горельниках, нормативы и технологии ухода за молодняками.*

**Ключевые слова:** *сосна, рубка спелого леса, методы лесовосстановления, горельники, естественное возобновление леса, лесные культуры, технологии ухода за лесом, целевое плантационное лесоводство.*

**Введение.** Сосновые леса в Поволжье всегда являлись одними из наиболее востребованных в жизни человека растительных формаций. Они представлены на 34 % площадей лесного фонда наиболее близких к Волге и Суре областях и республиках. Сосняки здесь распространены, как правило, на древнеаллювиальных песках, образованных крупными реками и занимают в лесном фонде Нижегородской области 43 %, Республики Марий Эл – 41 %, Ульяновской области – 40 %, Республики Мордовии – 32 % и Пензенской области – 31 %. Широкое использование лесных культур привело к тому, что в Пензенской области доля сомкнувшихся лесных культур составляет 25,8 % от покрытых лесной растительностью земель. Для Нижегородской области – 21,2 %, для Республики Марий Эл – 25 % [1, 2].

Значительная часть этих площадей представлена молодняками сосны – 44 % в Республике Марий Эл, 54 % в Нижегородской и 59 % в Пензенской области. Для всех трех субъектов характерно размещение сосняков на приречных песчаных равнинах Суры и Волги. Леса Пензенской области относятся к лесостепной зоне, леса Нижегородской и Республики Марий Эл – к зоне хвойно-широколиственных лесов. В лесостепной части вероятность засух составляет 35 %, для левобережья Волги в пределах Нижегородской области и Республики Марий Эл – 10–12 %. По многолетним данным лесоустройства, основными причинами гибели культур, например, в Пензенской области являются недостаточные агротехнические и лесоводственные уходы – 60–80 %; неблагоприятные климатические условия – 20–30 %; прочие причины – 20–30 %. Для Нижегородской области и Республики Марий Эл гибель лесных культур также происходит преимущественно из-за отсутствия уходов, но в меньшей степени от неблагоприятных климатических условий. Это в основном и обусловило различия в отношении лесохозяйственных структур к восстановлению сосновых лесов.

Проблемы с искусственным лесовосстановлением, существующие в Поволжье и России, неоднократно обсуждались в печати [3–6, и др.].

**Цель** работы – показать основные проблемы лесопользования и лесовосстановления сосновых лесов в Поволжье и определить возможные пути их решения.

**Материалы и методика** – анализ публикаций и официальных документов, полевые материалы, собранные на территории Пензенской и Нижегородской областей, Республики Марий Эл.

*Рубки и лесовосстановление.* Разработка лесных планов показала, что лесовосстановление планируется по целевым показателям отношения площади искусственного лесовосстановления к площади сплошных рубок лесных насаждений на землях лесного фонда. Для различных субъектов РФ этот показатель имеет недостаточную обоснованность.

Так, для лесостепных лесов Пензенской области вплоть до 2011 года характерным управленческим решением являлся отказ от естественного лесовосстановления и ориентация исключительно на лесные культуры. Формулировка смягчилась, но прежняя суть осталась в измененном Лесном плане 2011 года [7]. В 2008 году Законодательным Собранием Пензенской области принят Закон о целевой программе «Воспроизводство, лесоразведение и охрана лесов на территории Пензенской области (2008-2012 годы)». Источники финансирования – средства бюджета Пензенской области в размере 296,18 млн. рублей. На первом месте в Программе значится задача своевременного воспроизводства лесов, лесоразведение наиболее эффективными способами. В этом документе основным принципом воспроизводства лесов заявлено *создание лесных культур на вырубках сосны, дуба и других лиственных пород, а также содействие естественному лесовосстановлению на вырубках высокобонитетных березняков и осинников.*

В то же время создающиеся лесные культуры сосны на сплошных вырубках в условиях сосняков лишайниковых ( $A_1$ ) и брусничных ( $A_2$ ) приходится дополнять ежегодно, что приводит к увеличению затрат [8, 9]. Это отражено в действующем Лесном плане [7].

Прошедшая в 2010 году засуха наиболее ярко проявила преимущества и недостатки методов восстановления сосняков и форм рубок, рассчитанных на естественное возобновление. В указанном году в оптимальные агротехнические сроки было создано 1679 га лесных культур и проведено дополнение лесных культур на площади 2565 га, что составило 91,4 % к годовому объему. К осени того же года списано 2176 га непереведенных лесных культур, из них 93 % погибло от засухи [10].

В условиях сосняка брусничного ( $A_2$ ) в Кададинском районном лесничестве на опытных площадях сплошных рубок (СР), кулисе, равномерно - (РПР) и группово-постепенных рубок (ГПР), а также контроле, засуха 2010 года привела к значительному снижению количества жизнеспособного подроста (табл. 1, 2).

Т а б л и ц а 1

**Матрица различий по Стьюденту густоты жизнеспособного подроста сосны по секциям после засухи 2010 года**

Варианты рубок	СР	Кулиса	РПР	ГПР	К
СР	0	<b>3,696</b>	<b>2,537</b>	1,681	1,333
Кулиса	<b>3,696</b>	<b>1,7 ± 0,46</b>	1,071	1,384	<b>3,492</b>
РПР	<b>2,537</b>	1,071	<b>1,04 ± 0,41</b>	0,401	<b>2,317</b>
ГПР	1,681	1,384	0,401	<b>0,79 ± 0,47</b>	1,498
К	1,333	<b>3,492</b>	<b>2,317</b>	1,498	<b>0,08 ± 0,06</b>

**Примечание:** в табл. 1 и 2 по диагонали приведено количество подроста, тыс. шт. \*га<sup>-1</sup>.

Т а б л и ц а 2

**Матрица различий по Стьюденту густоты усохшего подроста сосны по секциям  
после засухи 2010 года**

Варианты рубок	СР	Кулиса	РПР	ГПР	К
СР	0,08 ± 0,06	<u>4,086</u>	<u>3,037</u>	1,638	<u>3,326</u>
Кулиса	<u>4,086</u>	6,5 ± 1,57	<u>3,503</u>	<u>3,584</u>	<u>3,453</u>
РПР	<u>3,037</u>	<u>3,503</u>	0,92 ± 0,27	0,450	0,210
ГПР	1,638	<u>3,584</u>	0,450	0,71 ± 0,38	0,622
К	<u>3,326</u>	<u>3,453</u>	0,210	0,622	1,00 ± 0,27

На 95 % уровне значимости различия достоверны (подчеркнуты) в сравнении сплошных рубок и кулисы, кулисы и контроля.

Встречаемость подроста сосны разных категорий жизнеспособности (табл. 3) свидетельствует о равномерном размещении подроста обеих категорий его состояния в кулисе ( $\tau \geq 0,6$ ); на остальных секциях подрост размещен неравномерно.

Т а б л и ц а 3

**Встречаемость ( $\tau$ ) подроста сосны на секциях, %**

Встречаемость	Варианты рубок				
	СР	Кулиса	РПР	ГПР	Контроль
Жизнеспособного подроста	0	60	33	17	8
Усохшего подроста	8	65	42	29	50

Обращает на себя внимание лучший результат, получившийся на секции «Кулиса». Здесь во время засухи сложились лучшие экологические условия. Это произошло за счет наличия бокового рассеянного света с северной стороны кулисы, со стороны сплошной вырубке и «мягкой» солнечной радиации с южной стороны через изреженный полог древостоя с равномерно-постепенными рубками. Это подтверждается влажностью почв на секциях (рис. 1) в условиях сильной засухи.

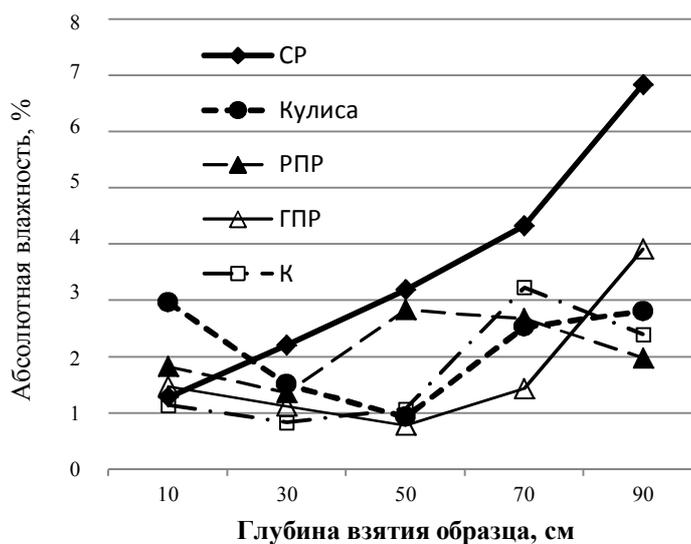


Рис. 1. Влажность почвы на участках разных форм рубок Кададинского районного лесничества (Траханиотовское участковое лесничество, кв. 114 выд. 43)

Причинами большей выживаемости подростка под изреженным пологом следует назвать большее биоэкологическое соответствие почвенной среды и подростка. Измеренные длина стержневого корня и высота самосева сосны показали наличие корреляционной связи высоты стволика и длины корней: жизнеспособные экземпляры имели коэффициент корреляции 0,85, тогда как нежизнеспособные – 0,44. Периодичность ростовых процессов надземной и подземной частей всходов и самосева сосны описана в работах [11, 12], указывающих на характерные этапы органогенеза, в том числе на пики интенсивного роста надземной части с мая по июль (наиболее вероятный период засух) и усиленный рост корней в августе. Это явление способно привести, при пересыхании лесной подстилки и дефиците влаги в почве, к массовой гибели всходов и самосева сосны.

Изучение нами распределения всходов и самосева по длине корней под пологом сомкнутого сосняка брусничного показало, что 75 % всех всходов имеют длину корня до 7 см, двухлетняя сосна – до 9 и трехлетняя – до 11 см. Таким образом, гибель всходов сосны и двухлеток в первую очередь обусловлена пересыханием подстилки, которая в брусничных типах леса в условиях Пензенской области достигает 5 см [13].

Для условий Пензенской области минерализация поверхности почвы дает ощутимый эффект под пологом леса. При удалении только подстилки количество всходов увеличивается в 3,3 раза, при удалении подстилки и гумуса – в 6,9 раза [8]. Минерализация поверхности почвы под пологом способна обеспечить в условиях сосняков брусничных до 50–100 тыс. экземпляров жизнеспособного подростка на один гектар (ряд примеров имеется в Кададинском, Кузнецком и Никольском районном лесничествах). В таких условиях складываются все необходимые предпосылки для успешного восстановления сосняков за счет предварительной генерации при постепенных и выборочных рубках, о чем писал еще в 1910 году А. А. Крюденер [14]. И, тем не менее, спустя 100 лет, в 2010 году меры содействия по всей области проведены на площади 580 га, в том числе в хвойных и твердолиственных древостоях всего на 39 га.

Кроме того, для Пензенской области указывается [8] на возможность успешного восстановления за счет предварительной генерации сосняков лишайниково-мшистых и орляково-разнотравных. Сосняки ряда суборей требуют искусственного восстановления.

С конца 2011 года в Рослесхозе начал обсуждаться вопрос о переходе от сплошных к выборочным рубкам [15, 16]. Для Пензенской области, в которой эти рубки практически не ведутся, такой переход возможен, но, как видим, для него необходимо создать условия, которые включали бы разработку нормативной базы и обучение арендаторов и лесоводов технологиям проведения выборочных рубок в сосняках.

Для условий Республики Марий Эл выборочные рубки не новы – здесь ежегодно проводятся равномерно-постепенные рубки на сотнях гектаров. В 2008 году сплошные рубки по РМЭ в хвойных спелых и перестойных насаждениях проведены на площади 471 га, в том числе с предварительным лесовосстановлением (в основном ель) 110 га (23,4 %) и последующим 361 га (76,6 %). Выборочные рубки в спелых и перестойных древостоях имели общий объем 524 га.

Учеными МарГТУ проведены исследования лесоводственной эффективности равномерно-постепенных рубок в сосняках брусничных и в елово-лиственном кислично-липняковом типах леса [17]. Если в брусничном типе леса были получены хорошие результаты, то в елово-лиственном кислично-липняковом типе леса они были неудовлетворительными: новое поколение хвойного подростка не появилось, а имевшийся до рубки подрост был сильно заглушен развившимся подлеском из клена, липы, вяза и других пород.

Исследования показали, что естественное возобновление сосны на узкополосных сплошных вырубках зависит от целого ряда факторов, из которых большое значение имеют ширина лесосеки и лесорастительные условия [18].

Наиболее успешное естественное возобновление на вырубках в целом происходило при ширине лесосек 40–50 м, при большей их ширине потребовалось создание лесных культур. Так, в ТЛУ А<sub>3</sub>, А<sub>4</sub> и С<sub>2</sub> при ширине лесосек 40–50 м возобновление на всех исследуемых вырубках прошло естественным путём. В ТЛУ А<sub>2</sub> и В<sub>2</sub> на значительном количестве участков потребовалось создание лесных культур, при этом более высокий процент закультивированных вырубков приходится на большую ширину вырубков (48,1–57,0 % при ширине вырубков 41–100 м по сравнению с 28,6–38,9 % при ширине вырубки 40–50 м).

Количество вырубков, возобновившихся сосной, также зависело от ширины лесосек. В ТЛУ А<sub>2</sub> вырубки полностью возобновились сосной при ширине лесосеки 40–50 м. Значительная часть вырубков (58,3–63,3 %) возобновилась сосной и в В<sub>2</sub>. Однако здесь доля возобновившихся сосной вырубков уменьшается.

Сформировавшиеся древостои на вырубках в ТЛУ А<sub>2</sub>, В<sub>2</sub> и А<sub>3</sub> характеризуются высоким участием сосны в их составе (от 0,5 в условиях А<sub>3</sub> до 0,8–1,0 в условиях А<sub>2</sub>, В<sub>2</sub>), большой полнотой и значительными запасами древесины. На ряде участков выявлена необходимость рубок ухода.

Проведённые исследования показали высокую лесоводственную эффективность узкополосных вырубков шириной 40–50 м, при которых на большей их части произошло естественное возобновление.

В 1963 году группой ученых ПЛТИ проведено обширное исследование успешности лесовозобновления на вырубках МАССР [19]. В эксплуатационных лесах ими рекомендовались сплошные, постепенные и выборочные рубки с предельной шириной при сплошных рубках для сосны 100, ели 200 м. В защитных лесах предусматривалось в первую очередь проведение выборочных, постепенных, а также сплошных рубок при ширине лесосек для сосны 75, ели 100, мягколиственных 200 м. Ученые считают, что основными путями широкого использования естественного лесовозобновления на вырубках являются: сохранение подроста при сплошных рубках или переход к постепенным и выборочным рубкам. И в этом плане нужно поддержать желание Рослесхоза перейти к выборочным рубкам. Однако во многих случаях они недопустимы по лесоводственным причинам, обусловленным в первую очередь типом леса, поэтому нельзя отказываться и от сплошных рубок с сохранением подроста.

Другой проблемой восстановления сосновых лесов в Поволжье является восстановление их на горях. Периодически возникающие сильные пожары (1921, 1936, 1938, 1972, 2010 гг.), охватывающие значительные площади лесов Нижегородской области и Республики Марий Эл [20–22], наносят им большой ущерб как по непосредственным потерям, так и в перспективном плане. Следует отметить, что все крупные пожары происходили в условиях песчаной низменности левобережья Волги (среднее лесное Заволжье), протянувшейся от Держинска до Зеленого Дола, занятой преимущественно сосновыми лесами. Естественно-исторические условия этого района, как было сказано выше, обуславливают высокую пожарную опасность, с которой необходимо считаться, а учитывая его уникальность, необходимо обеспечить в нем качественное противопожарное устройство хвойных лесов и непрерывную целенаправленную воспитательную и обучающую работу с местным населением по правилам пожарной безопасности в лесу. Вероятность возникновения крупных лесных пожаров, в связи с общим в перспективе потеплением климата, будет только возрастать. В связи с этим задачи предупреждения таких пожаров и ликвидация их последствий становятся, как никогда, актуальными.

Стратегия искусственного лесовосстановления в Поволжье, в том числе в Нижегородской, Пензенской областях и Республике Марий Эл, на протяжении последних десятилетий была реализована в форме создания чистых культур хвойных пород [23–25]. Масштабы таких работ только на территории Нижегородской области велики: площадь искусственных насаждений более 0,5 млн. га, или около 1/5 всех лесов. Такой подход привел к общему возрастанию природной пожарной опасности лесов, осложнению пожарной обстановки в них и усилению негативного эффекта от поражения огнем. Проблема с особой остротой проявилась летом 2010 года, когда пожары нанесли ощутимый ущерб лесному хозяйству региона, вследствие чего возникла потребность незамедлительного и масштабного восстановления лесов в нем.

Принимая во внимание широкие возможности естественного восстановления лесов, обусловленные их особенностями как самовосстанавливающихся динамических систем, при разработке программ лесовосстановления следует учитывать связанные с этим многочисленные лесоводственные эффекты: смена пород, заболачивание и др.

Ликвидация последствий крупных лесных пожаров растягивается на десятилетия и включает в себя ряд дорогостоящих работ, главная из которых – подготовка площадей горельников для искусственного лесовосстановления и создания лесных культур, поэтому технологии обследования насаждений, пройденных пожарами, технологии принятия решений на разных этапах ликвидации последствий лесных пожаров, технологии рубок товарных древостоев и расчистка нетоварных, технологии содействия естественному возобновлению леса и создания здесь лесных культур приобретают не только лесоводственный, но и экономический смысл.

В 2010 году преобладающими видами лесных пожаров являлись низовые. В отличие от верховых, они, как правило, оставляют шансы на сохранность семян в шишках [26]. По исследованиям в Куярском лесничестве (ТЛУ А<sub>2</sub>), в кронах погибших на горях семеносящих сосен имелось достаточно много жизнеспособных семян, всхожесть которых превышала 80 % [27]. Выявление заселенности гарей семенным материалом древесных пород в октябре 2010 года проведено нами путем проращивания семян в образцах верхнего слоя почвы, взятых на горях в Куярском и Килемарском лесничествах. Количество образцов составило 320.

Т а б л и ц а 4  
Количество всходов березы и их встречаемость на горях 2010 года

№ трансекты	Кол-во проб, шт.	Кол-во всходов березы, млн.шт.*га <sup>-1</sup> и ошибка среднего	Встречаемость всходов
1	55	1,9±0,3	1,00
2	50	34,6±4,4	1,00
3	55	52,1±5,8	1,00
4	55	2,4±0,5	1,00
5	55	0,6±0,1	0,72

Подсчет всходов проводился в течение трех недель и показал, что практически по всем обследованным площадям гарей имелся налет семян березы (табл. 4), что могло бы обеспечить появление от 0,6 до 52 миллионов всходов при встречаемости 1,0.

Количество семян сосны в шишках на месте погибших и разработанных в результате низовых пожаров древостоев подсчитывалось на учетных площадках. При этом шишки собирались с земли и порубочных остатков (табл. 5). Количество семян в шишках составило в пересчете на гектар 550 тыс. шт., что соответствует среднему урожаю семян в сосняках и достаточно для успешного возобновления сосны на гари.

Осенние учеты 2011 года на этих же участках гарей показали, что количество всходов сосны достигает 370 тыс.шт.\*га<sup>-1</sup>. Сравнение лабораторных результатов проращи-

вания с фактическим количеством березы на гарях свидетельствует о гибели 99,6 % её семян, имевшихся на гари к осени после пожаров. Тем не менее, всходов березы найдено от 8 до 100 тыс.шт.\*га<sup>-1</sup> и всходов осины от 1 до 700 тыс.шт.\*га<sup>-1</sup>.

Обследование лесовозобновления на гарях также проведено в разных типах леса Куженерского и Куярского лесничеств с закладкой 12 пробных площадей (табл. 6). Количество двухлетней сосны на площадях гарей колеблется в значительных пределах – от 8,1 до 35,4 тыс.шт.\*га<sup>-1</sup>. Но при этом количество лиственных в десятки и, местами, в сотни раз превышает численность сосны. Такое количество лиственных, на первый взгляд, обеспечивает им преимущество и в дальнейшем может вытеснить сосну из состава древостоев.

Развитие начального этапа восстановления сосняков на гарях 2010 года повторяет историю восстановления сосняков на гарях 1921 и 1972 годов, где при одновременном поселении сосны и березы в равном соотношении (5С5Б) в условиях А<sub>2</sub> к возрасту древостоя 35–40 лет береза, обогатив почву опадом, уступила первенство сосне [28]. В суборях интенсивный рост березы быстро приводит здесь к угнетению сосны, что требует ухода за составом уже на 5–7 год после пожара [29].

Результаты обследования позволяют достаточно оптимистично оценивать успешность естественного возобновления: практически на всех участках, где не проводилась вырубка товарных насаждений (см. табл. 6). При естественном протекании процесса лесовозобновления вероятность успешного завершения его на гарях достаточно высока. Проблемой может явиться майский хрущ, который на гарях 1921 года создал значительные трудности для лесовосстановления.

Заготовка ликвидной древесины, как правило, производится в ускоренном режиме, без соблюдения каких бы то ни было технологий. Это является лесоводственно-технологической ошибкой, которая оборачивается значительными затратами на последующее искусственное возобновление леса на гарях, где могло преобладать естественное возобновление сосны. При заготовке товарной древесины сразу после низовых пожаров средней интенсивности следует использовать технологии узких лент, оставляя кроны с шишками на пасеке. Для увеличения количества подроста на гарях, где остались живые куртины и отдельные деревья сосны, следует оценить возможную степень усыхания древостоя, после чего решать вопрос об оставлении деревьев на корню в качестве семенников.

Для Среднего Поволжья в качестве критериев для назначения горелых древостоев в тот или иной способ рубки является степень усыхания древостоя и его полнота.

Основная масса отпада деревьев на гарях сосновых насаждений происходит в первые 2...5 лет в зависимости от интенсивности низового пожара. Внешнее состояние сосны в первые месяцы может быть обманчивым. В зависимости от конкретных условий ведущими диагностическими признаками ослабления сосны пожаром является высота нагара, степень ожога корневой шейки и корневых лап, доля отмершей хвои.

Таблица 5

**Количество семян сосны в шишках, собранных на площадях разработанных горельников**

№ учетной площадки	Кол-во шишек, тыс. шт.*га <sup>-1</sup>	Кол-во раскрывшихся шишек, тыс. шт.*га <sup>-1</sup>	Среднее кол-во семян в раскрывшейся шишке, шт.
1	231	114	2,11
2	112	88	7,84
3	129	119	9,97
4	25	25	7,2
5	11	10	5,8
6	34	30	4,33
7	234	226	6,82
8	52	52	6,81
9	202	197	4,7
10	39	36	7,31
11	73	67	1,85
Среднее	<b>103,8±25,4</b>	<b>87,6±21,4</b>	<b>5,9±0,74</b>

Т а б л и ц а 6

## Характеристика лесовозобновления на гарях 2010 года

Категория участка	Тип леса	ТЛУ	Пожар низовой	Средняя высота нагара, м		Количество естественного возобновления по по- родам тыс.шт.*га <sup>-1</sup>					Состав возобнов- ления	Встречае- мость хвойных, %
				сосна	береза	сосна	береза		осина	ива		
							семенная	порослевая				
<i>вырубка 2011 г.</i>	С.кп	В <sub>2</sub>	интенсивный	-	-	<b>2</b>	2,3	0	232,3	8	9,5Ос 0,3Ив 0,1С 0,1Б	<b>36</b>
<i>вырубка 2011 г.</i>	С.кп	В <sub>2</sub>	интенсивный	-	-	<b>2,4</b>	2,9	0,05	24,5	0,08	8,2Ос 1Б 0,8С +Ив	<b>56</b>
<i>вырубка 2011 г.</i>	Б.трб	В <sub>4</sub>	интенсивный	-	-	<b>0</b>	41,3	0	55,2	22,3	4,6Ос 3,5Б 1,9Ив	<b>0</b>
насаждение	С.мбр	В <sub>2</sub>	средний	1,5	1,3	13,7	1,3	0,3	49,1	0	7,6Ос 2,1С 0,2Б	88
насаждение	С.мбр	В <sub>2</sub>	средний	1,5	1,3	35,4	430,8	0,2	87,3	0	7,8Б 1,6Ос 0,6С	100
насаждение	С.мбр	В <sub>2</sub>	средний	1,5	1,3	8,1	2111,9	0,6	2068,8	0	5,0Б 4,9Ос 0,1С	100
насаждение	С.мчер	В <sub>3</sub>	средний	3,4	1,7	21,4	12,7	0,6	0	0	6,2С 3,8Б	100
насаждение	С.дм	А <sub>4</sub>	средний	3,8	4,2	21,8	210	0	19,3	0	8,4Б 0,9С 0,8Ос	100
насаждение	Соссф	В <sub>5</sub>	средний	1,2	0	14,8	41,8	0	1,5	0	7,2Б 2,5С 0,3Ос	100
насаждение	С.мбр	В <sub>2</sub>	средний	1,9	1,3	30,0	81,0	0	48,0	0	5,1Б 3,0Ос 1,9С	100
насаждение	С.мбр	В <sub>2</sub>	средний	3,9	0	16,5	0	0	37,3	0	6,9Ос 3,1С	100
<i>вырубка 2011 г.</i>	С.зм	А <sub>2</sub>	средний	-	-	<b>0</b>	0	0	16,3	0	10Ос	<b>0</b>

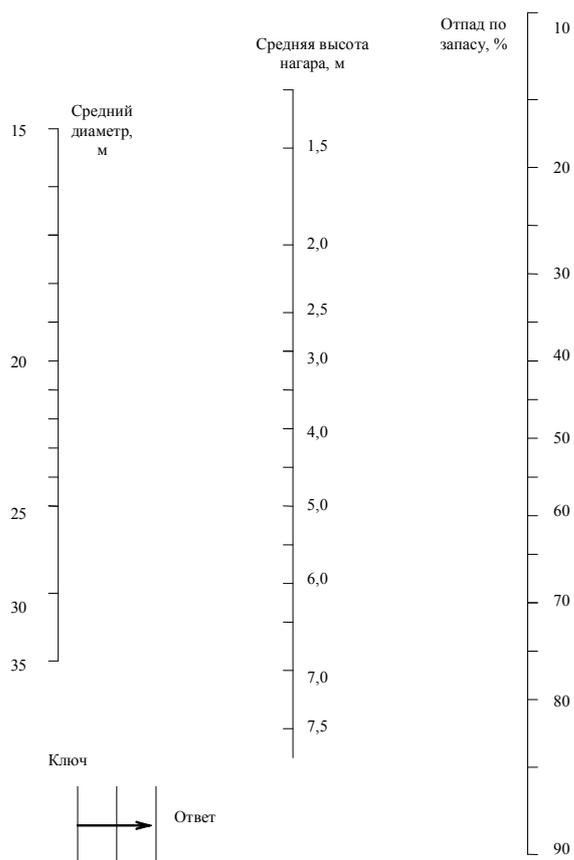


Рис. 2. Номограмма для определения послепожарного отпада в приспевающих и спелых сосняках лишайниковых и брусничных

В средневозрастных, приспевающих и спелых сосняках лишайниковых и брусничных, где корни хорошо заглублены в почву и обычно слабо повреждаются огнем, прогноз опасности усыхания сосны нужно вести по высоте нагара на стволах. Учитывается при этом также диаметр деревьев на высоте 1,3 м. Высота нагара измеряется у деревьев с противоположной по ходу огня стороны. Ожидаемый отпад деревьев оценивается с помощью номограммы (рис. 2). Для этого по 40–50 деревьям на выделе производятся вычисления средних величин диаметра древостоя и высоты нагара. Точность определения ожидаемого отпада по номограмме составляет  $\pm 10\%$ . Показателем общей жизнеспособности может являться доля отмершей в кроне дерева хвои. Так, С. Н. Санников [30] для условий Сибири указывает, что жизнеспособными следует считать деревья, у которых доля отмершей хвои не более  $1/3$  объема кроны, а густота охвоения не менее  $1/2$  от здорового дерева. Для этого региона он рекомендует оставлять внутригаревые обсеменители, формируя из них систему, обеспечивающую рав-

номерное распространение семян по гаре.

В связи с ликвидацией последствий пожаров и рубками, направленными на естественное восстановление лесов, возникает вопрос о критериях оценки этого процесса. Можно согласиться с мнением о том, что его успешность оценивается по степени сомкнутости крон жизнеспособного подроста с учетом его породного состава. В «Правилах лесовосстановления» 2007 года этот параметр снижен в два раза по сравнению с дореформенными нормативами. Что произойдет, если подрост хозяйственно-ценной породы будет недостаточно? Как относиться к смене хвойных древостоев на лиственные? Создавая лесные культуры на месте вырубок и гарей, лесоводы стремятся не допустить смены пород. Принципиальным моментом при допущении смены можно считать равную производительность древостоев до и после неё. Так, при смене ели в результате пожаров 1921 года в условиях Нижегородской области и Республики Марий Эл сформировались пирогенные березняки 16 класса бонитета, не уступающие, а порой и превосходящие по стволловому запасу ельники в этих же условиях. Эти березняки в европейской части России являются самыми производительными [31]. При проведении интенсивных прореживаний в таких березняках можно получить не только березовый баланс, но и значительный объем фанерного кряжа [32, 33], обеспечив, как правило, имеющейся ели формирование второго яруса и возрождение ельника на улучшенных березой почвах.

**Выводы.** Восстановление сосняков в Среднем Поволжье может быть обеспечено за счет естественного возобновления. Выборочные рубки в сосняках Пензенской лесосте-

пи способствуют сохранению подроста даже в условиях длительных засух. За счет предварительного возобновления могут восстанавливаться сосняки борового ряда. Для снижения затрат на восстановление сосняков следует разработать региональные нормы выборочных рубок и проводить обучение арендаторов. При осуществлении выборочных рубок обязательным является удаление подстилки, что обеспечивает более чем шестикратное увеличение численности всходов и подроста сосны.

Для условий среднего лесного Заволжья, кроме выборочных рубок в сосняках борового ряда, эффективны сплошные узколесосечные, с шириной лесосек до 50 м.

Выборочные рубки неэффективны в сосняках ряда суборей и других богатых лесорастительных условиях. Здесь должны проводиться сплошные рубки с искусственным восстановлением насаждений хозяйственно-ценными древесными породами.

Гари 2010 года в основном восстанавливаются за счет налета семян древесных пород. Здесь восстановление сосняков может быть успешным при наличии сохранившихся источников семян, которыми могут быть и погибшие от низовых пожаров древостои, поэтому разработка горелых древостоев после низовых пожаров должна проводиться по технологии узких лент с оставлением ветвей с шишками на месте, сжигание которых, как порубочных остатков, недопустимо. При рубках древостоев через год после пожара при наличии самосева необходимо применять технологии разработки лесосек с сохранением подроста.

Вопрос о допуске смены пород на горяч может решаться исходя из целевых задач. Уход за составом будущих молодняков потребует на 5...7-й год после пожара, поэтому к 2015–2017 годам необходимо планировать объемы и средства для проведения уходов.

**Исследования выполнены в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» научно-исследовательские работы «2011-1.5-515-040» «Проведение проблемно-ориентированных прикладных исследований в области технологии заготовки и воспроизводства лесных ресурсов» по теме: «Разработка инновационной системы эффективного устойчивого лесопользования и лесовосстановления на ландшафтно-типологической основе с использованием адаптивно-модульных образцов техники и инфотелекоммуникационных методов экомониторинга»**

#### Список литературы

1. Федеральное агентство лесного хозяйства <http://www.rosleshoz.gov.ru/> Свободный доступ (дата обращения: 21.03.2012).
2. Леса и лесное хозяйство России. [http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/forest\\_cdrom/russian/for\\_fund\\_ru.html](http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/forest_cdrom/russian/for_fund_ru.html) Свободный доступ (дата обращения: 21.03.2012).
3. Писаренко, А. И. Новая парадигма лесного хозяйства и управления лесами России / А. И. Писаренко // Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2008. – № 2. – С. 17-27.
4. Романов, Е. М. Состояние и проблемы воспроизводства лесов России / Е. М. Романов, Н. В. Еремин, Т. В. Нуреева // Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2007. – № 1. – С. 5-14.
5. Романов, Е. М. Состояние и повышение результативности искусственного лесовосстановления в Нижегородской области / Е.М.Романов, Н. В. Еремин, Т. В. Нуреева и др. // Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2008. – № 3. – С. 18-28.
6. Ермоленко, А.А. <http://www.rosleshoz.gov.ru/media/appearance/> Свободный доступ (дата обращения: 25.02.2009).
7. Лесной план Пензенской области с изменениями 2011 года. Саратов, 2011 [http://www.uprles.pnzreg.ru/forest\\_plan](http://www.uprles.pnzreg.ru/forest_plan) Свободный доступ (дата обращения: 26.03.2012).
8. Денисов, С.А. Естественное возобновление сосны в Пензенской области / С.А.Денисов, В.М. Егоров. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. – 168 с.
9. Демичева, Н.В. К выбору способов восстановления сосняков Пензенской области / Н.В. Демичева, С.А. Денисов, В.М. Егоров // ИВУЗ: Лесной журнал. – 2011. – № 1. – С. 32-34

10. Управление лесами Пензенской области. Деятельность. Воспроизводство лесов. Итоги 2010. <http://www.lespznz.ru/> Свободный доступ (дата обращения: 26.03.2012).
11. Карманова, И.В. Математические методы изучения роста и продуктивности растений / И.В. Карманова. – М.: Наука, 1976. – 220 с.
12. Романов, Е.М. Выращивание сеянцев древесных растений: биоэкологические и агротехнические аспекты / Е. М. Романов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2000. – 500 с.
13. Демичева, Н.В. Выживание самосева сосны при дефиците влаги в сосняках брусничных Пензенской области / Н.В. Демичева, С.А. Денисов // Международная научно-практическая интернет-конференция Современные направления теоретических и прикладных исследований '2012. Время проведения 23-31 марта 2012 г. <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/agriculture-112/agriculture-animal-husbandry-and-forestry-112>. Свободный доступ (дата обращения: 25.03.2012).
14. Крюденер, А.А. Сплошные и семенно-лесосечные рубки в типах насаждений приволжских губерний лесостепной области с преимущественно сосновым древостоем. СПб, 1910 / Отдельный оттиск Лесного журнала. –СПб., 1910. – 72 с.
15. II Международная научно-практическая конференция «Инновации и технологии в лесном хозяйстве-2012» <http://www.rosleshoz.gov.ru/media/news/996> Свободный доступ (дата обращения: 25.03.2012).
16. Ярошенко, А. «Лесной огород» себя исчерпал / <http://forest-karelia.ru/?id=164> Свободный доступ (дата обращения: 25.03.2012).
17. Калинин, К.К. Лесоводственная и экономическая оценка постепенных рубок в сосняках брусничных Марийской АССР: автореф. дис... канд. с.- х. наук / К.К. Калинин. – Йошкар-Ола: МарПИ, 1973. – 24 с.
18. Калинин, К.К. Лесовосстановительный процесс на узкополосных вырубках сосновых насаждений /К.К. Калинин//Совр. проблемы теории и практики лесн. хоз-ва. Всероссийская науч-практ. конференция, посв. 100-летию со дня рождения д.б.н., проф. Михаила Даниловича Данилова: сб. статей. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2008. – С.79-82.
19. Чистяков, А.Р. Восстановление леса на вырубках /А.Р. Чистяков, Г.К. Незабудкин, Т.И. Малочка. – Йошкар-Ола: Марийск. кн. изд-во, 1964. – 116 с.
20. Куприянов, Н.В. Леса и лесное хозяйство Нижегородской области/ Н.В. Куприянов, С.С. Веретенников, В.В. Шишов. – Нижний Новгород: Волго-Вятское кн. изд-во, 1994. – 349 с.
21. Денисов, А.К. Лесные пожары в Марийской АССР и Горьковском Заволжье / А. К. Денисов // Горение и пожары в лесу. Тез. докладов и сообщений 1-го всесоюзного науч.-техн. совещания 22-24 ноября 1978 г. – Красноярск, 1978. – Часть 1. – С. 38-40
22. Денисов, А.К. Лесные пожары в лесном среднем Заволжье в 1921 и 1972 гг. и их уроки / А.К. Денисов // Горение и пожары в лесу. Тез. докладов и сообщений 1-го всесоюзного науч.-техн. совещания 22-24 ноября 1978 г. – Красноярск, 1979. – Часть 3. – С. 16-26
23. Основные положения организации и ведения лесного хозяйства Нижегородской области. В 2-х книгах: Кн. 1 (Пояснительная записка) – Нижний Новгород, ФГПУ « Поволжский леспроект», 2003. – 408 с.
24. Основные положения организации и ведения лесного хозяйства Нижегородской области. В 2-х книгах: Кн. 2 (Приложение) – Н.Новгород: ФГПУ « Повожский леспроект», 2003. – 245 с.
25. Лесной план Нижегородской области (действует с 01.01.2009 г. по 31.12.2018 г.). Утв.: Губернатор Нижегородской области В.П. Шанцев. В 4-х книгах: Кн.1. – Н.Новгород – Йошкар-Ола, 2009. – 399 с.
26. Чистяков, А.Р. Естественное возобновление в разных типах гарей / А.Р. Чистяков, В.А. Крейер // Проблемы ликвидации последствий лесных пожаров 1972 г. в Марийской АССР. – Йошкар-Ола: МарПИ, 1976. – С. 68–75.
27. Денисов, С.А. Прогнозирование лесовозобновления на свежих сосновых горельниках / С. А. Денисов, В. В. Самоделькина /Лесные экосистемы в условиях изменения климата: Йошкар-Ола, 2011 Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: материалы международного научно-практического семинара [Электронный ресурс]. – Электрон. дан.– Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2011. С. 181-183. – URL: <http://csfm.marstu.net/publications.html> ISBN 978-5-8158-0935-2
28. Денисов, А.К. Формирование смешанных древостоев на свежих гарях / А.К. Денисов, А.А. Александров // Лесное хозяйство. – 1954. – № 10. – С. 26-31.
29. Денисов, С.А. Регулирование роли березы в естественном возобновлении гарей / С.А. Денисов // Лесное хозяйство. – 1979. – № 7. – С. 19-21.
30. Санников, С.Н. Рекомендации по содействию естественному возобновлению главных пород на гарях в лесах Западной Сибири / С.Н. Санников, В.А. Подшивалов, Д.С. Санников. – Екатеринбург: УрО РАН, 2000. – 32 с.

31. Денисов, С.А. Потенциальная продуктивность березовых лесов европейской части России / С. А. Денисов // Мат. научно-практической конф., посв. 100-летию проф. И.С.Аверкиева (9-12 апреля 2001 г.) – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – С 78-80.

32. Алексеев, П.В. Высокопроизводительные березняки Приветлужского лесорастительного района и основы хозяйства в них / П.В Алексеев // Сб. трудов ПЛТИ. – Йошкар-Ола, 1961. – N55. – С. 59-72.

33. Алексеев, П.В. Рубки реформирования и основы хозяйства в пирогенных березняках Среднего Поволжья / П.В. Алексеев // Лесное хозяйство. – 1997. – № 6. – С. 19-22.

Статья поступила в редакцию 30.03.12.

*S. A. Denisov, K. K. Kalinin, V. P. Besschetnov,  
N. V. Demicheva, T. S. Batukhtina, V. V. Samodelkina*

#### PROBLEM OF PINE FORESTS REGENERATION IN THE MIDDLE VOLGA REGION

*The main possible ways of the key problems solution concerning natural regeneration of pine forests in the Middle Volga region are shown. To prove the possibility of the ways realization, the forests of Mari El republic, Nizhny Novgorod and Penza regions were chosen. For realization of the ways of solution of the problems it is necessary to pass from clean felling to mainly selective felling, to elaborate regional recommendations concerning the choice of the ways of harvest cutting and to use forest restoration methods at the fellings and burnt timber territories as well as young growth tending technologies and standards.*

**Key words:** *pine, harvest cutting, forest restoration methods, burnt timber, natural forest restoration, forest plantation, forest tending technologies, target-oriented plantation forestry.*

---

*ДЕНИСОВ Сергей Александрович* – доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой лесоводства МарГТУ. Область научных интересов – лесная экология, естественное лесовосстановление, лесоводство. Автор более 120 публикаций.

E-mail: denisovsa@marstu.net

*КАЛИНИН Константин Константинович* – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства МарГТУ. Область научных интересов – влияние на лесные биогеоценозы лесных пожаров и ликвидация их последствий. Автор более 130 публикаций.

E-mail: KalininKK@marstu.net

*БЕССЧЕТНОВ Владимир Петрович* – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой лесных культур Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. Область научных интересов – лесные культуры, селекция и интродукция древесных и кустарниковых видов, проблемы совершенствования селекционного потенциала природных популяций. Автор более 100 публикаций.

E-mail: lesfak@bk.ru

*ДЕМИЧЕВА Наталья Викторовна* – консультант отдела геологии, недропользования и государственной экологической экспертизы Министерства лесного, охотничьего хозяйства и природопользования Пензенской области, аспирант. Область научных интересов – лесоводство и лесовосстановление сосновых лесов. Автор пяти публикаций.

E-mail: priroda-pnz@mail.ru

*БАТУХТИНА Татьяна Сергеевна* – аспирант кафедры лесоводства МарГТУ. Область научных интересов – проблемы ликвидации последствий лесных пожаров. Автор двух публикаций.

E-mail: priroda-pnz@mail.ru

*САМОДЕЛКИНА Вероника Васильевна* – магистрант кафедры лесоводства МарГТУ. Область научных интересов – проблемы ликвидации последствий лесных пожаров. Автор двух публикаций.

E-mail: ferraro@mail.ru

УДК 630\*232 (470.343)

*Н. В. Панюшкина, М. А. Карасева, Ю. П. Демаков,  
М. В. Бекмансуров, В. Н. Карасев*

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ И СТРУКТУРА ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ МОЖЖЕВЕЛЬНИКА В РЕСПУБЛИКЕ МАРИЙ ЭЛ

*Приведены данные, характеризующие закономерности пространственного и биотопического распространения можжевельника обыкновенного в Республике Марий Эл, его онтогенетическую структуру, формовое разнообразие, рост и репродуктивную способность в различных типах лесорастительных условий.*

**Ключевые слова:** *можжевельник обыкновенный, ценопопуляции, распространение, формовое разнообразие, онтогенетическая структура, рост, плодоношение.*

**Введение.** Можжевельник обыкновенный *Juniperus communis L.* – один из наиболее массовых представителей подлеска лесов России [1–3], хотя в ряде регионов (Пензенская, Ульяновская области, Мордовия, Чувашия) он занесен в Красную книгу. В Татарстане, где проходит граница его сплошного ареала, вид находится в списке редких и уязвимых таксонов, не включенных в Красную книгу, но нуждающихся в постоянном наблюдении и контроле [4, 5].

Растение является ценным и в хозяйственном отношении: может использоваться в декоративном садово-парковом строительстве и для создания противоэрозионных насаждений, а его семенные шишки (шишкоягоды) – в фармацевтике и пищевой промышленности [1, 6].

Биология вида изучена довольно хорошо, однако сведения о его пространственном и биотопическом распространении, а также структуре ценопопуляций, которые имеют сугубо региональный характер [7], для условий Республики Марий Эл крайне скудны [8–12] и не позволяют разработать научно обоснованные рекомендации по сохранению можжевельника и рациональному использованию его ресурсного потенциала.

**Цель** исследований – выявить факторы пространственного и биотопического распространения можжевельника обыкновенного в Республике Марий Эл, оценить состояние его ценопопуляций в различных типах лесорастительных условий (ТЛУ), изучить репродуктивную деятельность и особенности роста.

**Объекты и методика исследований.** Характер распространения можжевельника обыкновенного оценивали по материалам повыведельной базы данных «Lesfond», содержащей детальную информацию о насаждениях 81 лесничества Республики Марий Эл, а состояние его ценопопуляций, репродуктивную деятельность и рост – на 52 временных пробных площадях, на которых был проведен сплошной пересчет растений с измерением высот, диаметров, проекций крон, параметров хвои и шишкоягод. Учет плодоношения проведен по методике М. Д. Данилова [8], а качество семян оценено по ГОСТ 13056.8.97 [13]. Онтогенетическую структуру ценопопуляций оценивали с использованием диагнозов, разработанных Т. А. Гороховой с соавторами [14]. Для обработки ис-

ходных данных, которая проведена на ПК, использованы общепринятые методы математической статистики и пакет стандартных программ.

**Результаты и обсуждение.** Анализ материала показал, что площадь насаждений, в которых можжевельник обыкновенный присутствует в составе подлеска, составляет порядка 109 тыс. га, или 9,5 % всего лесного фонда Марий Эл (табл. 1), однако распространение его по территории республики крайне неоднородно (рис. 1). Наиболее широко распространен он в Дубовском и Юркинском лесничествах. На территории 13 лесничеств, расположенных в правобережье Волги и на северо-востоке республики, данный вид практически не встречается. Ранговое распределение лесничеств по доле в их лесном фонде насаждений с подлеском из можжевельника обыкновенного (рис. 2) лучше всего аппроксимирует функция

$$Y = 39,3 \cdot \exp(-0,0365 \cdot X^{1,089}), R^2 = 0,977;$$

где  $Y$  – доля площади насаждений с подлеском из можжевельника в лесном фонде лесничества, %;  $X$  – ранговое положение лесничества в убывающем ряду ( $X = 1, 2 \dots k$ ).

Таблица 1

**Площадь насаждений с подлеском из можжевельника в различных ТЛУ Республики Марий Эл**

Трофотоп	Площадь (га) насаждений с участием можжевельника в различных гигротопах					
	1	2	3	4	5	В целом
А	18517,6	65018,2	10211,3	371,3	71,2	<b>94189,6</b>
В	0,0	11788,3	1642,2	247,5	23,2	<b>13701,2</b>
С	0,0	915,0	112,1	39,5	7,8	<b>1074,4</b>
<b>Итого</b>	<b>18517,6</b>	<b>77721,5</b>	<b>11965,6</b>	<b>658,3</b>	<b>102,2</b>	<b>108965,2</b>

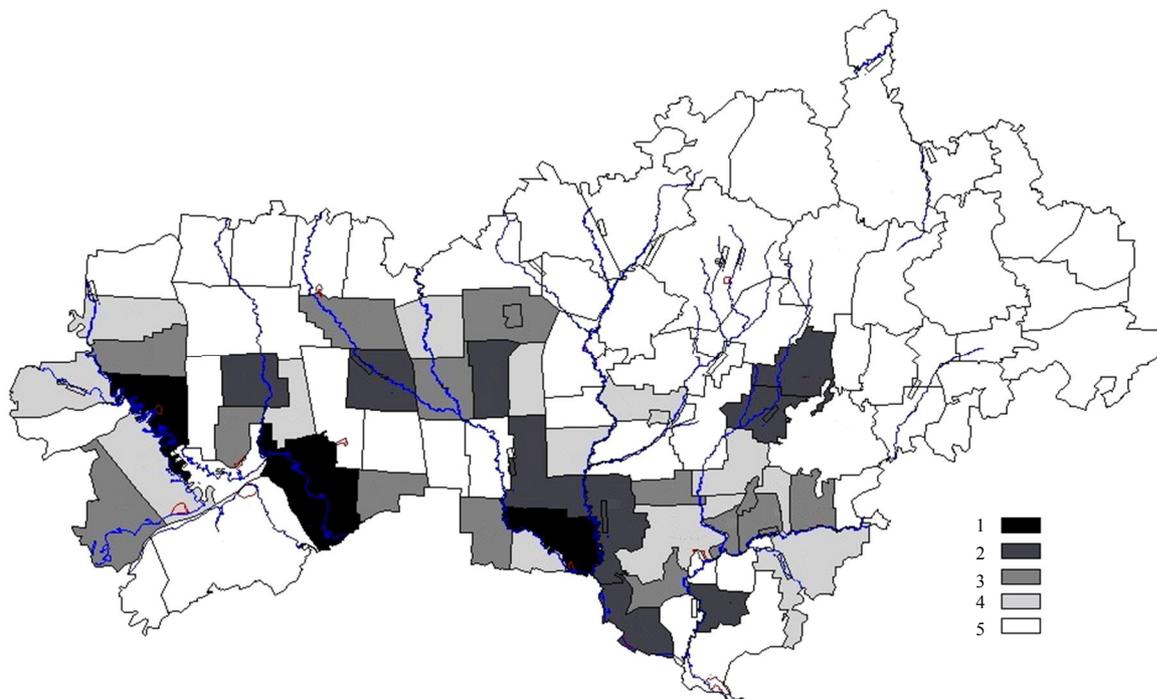


Рис. 1. Характер распространения популяции можжевельника по территории Марий Эл (пояснения к легенде: 1 – доля насаждений с присутствием можжевельника свыше 30 %, 2 – 22-30 %, 3 – 14-22 %, 4 – 6-14 %, 5 – менее 6 %)

Подобный характер распространения вида по территории республики связан, прежде всего, с особенностями лесорастительных условий лесничеств: можжевельник в условиях Марий Эл чаще всего встречается в свежих борах (табл. 2). Достаточно часто встречается он также в сухих борах. В ТЛУ А<sub>3</sub> и в субориях распространение можжевельника сдерживает активно внедряющаяся в биогеоценозы ель, сильно снижающая поступление света под полог древостоя. В сурамянях, где преобладают смешанные хвойно-лиственные древостои, его присутствие в подлеске ничтожно мало, что связано, прежде всего, с недостатком освещения для этого светолюбивого вида.

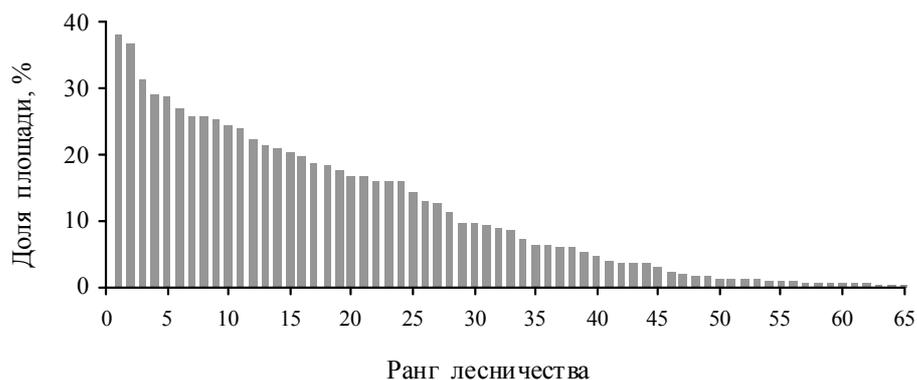


Рис. 2. Ранговое распределение лесничеств по доле насаждений с подлеском из можжевельника

Т а б л и ц а 2

**Доля площади насаждений с подлеском можжевельника в различных ТЛУ Республики Марий Эл**

Трофотоп	Доля площади насаждений с участием можжевельника в различных гигротопах, %					
	1	2	3	4	5	В целом
А	26,9	34,6	8,9	0,9	0,1	<b>20,9</b>
В	-	10,4	2,1	0,7	0,1	<b>5,6</b>
С	-	0,3	0,3	0,1	0,0	<b>0,2</b>
<b>В целом</b>	<b>26,9</b>	<b>11,7</b>	<b>5,2</b>	<b>0,6</b>	<b>0,1</b>	<b>9,5</b>

Установлено, что изменчивость доли насаждений с подлеском из можжевельника во всех типах лесорастительных условий разных лесничеств республики очень высока (табл. 3), что свидетельствует о влиянии на характер его распространения не только эдафических, но и других экологических факторов. Так, на примере пяти лесничеств (Таирского, Кокшайского, Шуйского, Зеленогорского и Комсомольского), где данный вид наиболее распространен и произрастает на площади 25 тыс. га, установлено, что он чаще встречается в большинстве ТЛУ в древостоях с полнотой 0,7–0,8 единиц, снижая свое присутствие как с увеличением полноты, так и с ее уменьшением (табл. 4). В первом случае развитие растений сдерживает недостаток света, а во втором – солнечный ожог и иссушение верхних горизонтов почвы, крайне неблагоприятное для можжевельника, имеющего поверхностную корневую систему. По мере увеличения влажности и богатства почвы экологический оптимум встречаемости можжевельника сдвигается в сторону снижения полноты древостоя. Так, в ТЛУ А<sub>4</sub> наиболее часто он встречается в древостоях полнотой менее 0,5 единиц, а в ТЛУ В<sub>3</sub> и В<sub>4</sub> – с полнотой 0,5–0,6 единиц. Полнота древостоя оказывает влияние и на густоту ценопопуляций этого вида: количество его растений в насаждениях с полнотой 0,6 и ниже составляет более 2 тыс. экз./га, а в высокополнотных насаждениях варьирует в пределах от 300 до 1000 экз./га.

Большое влияние на распространение можжевельника оказывает также возраст древостоев (табл. 5). Связь между этими параметрами, как свидетельствуют приведен-

ные данные, нелинейная и сугубо специфичная для каждого ТЛУ, однако почти во всех случаях максимум встречаемости вида приходится на возрастной интервал древостоев от 60 до 100 лет. Снижение встречаемости можжевельника в старовозрастных насаждениях связано, на наш взгляд, с вырождением его ценопопуляций вследствие отсутствия появления молодого поколения вида из-за недостатка света под пологом древостоя и других неблагоприятных для возобновления факторов (наличия мощной подстилки, мохово-лишайникового покрова, корневой конкуренции древостоя).

Таблица 3

**Пределы изменчивости доли насаждений с подлеском из можжевельника обыкновенного в различных типах лесорастительных условий Республики Марий Эл**

ТЛУ	Значения статистических показателей						
	N	$M_x$	min	max	$S_x$	$m_x$	V
A <sub>1</sub>	65	24,4	0,0	100,0	25,8	3,2	105,8
A <sub>2</sub>	74	26,0	0,0	88,2	26,3	3,1	100,9
A <sub>3</sub>	70	9,8	0,0	72,2	13,6	1,6	138,2
B <sub>2</sub>	77	10,8	0,0	77,0	14,8	1,7	136,3

**Примечание:** здесь и далее N – объем выборки,  $M_x$  – среднее арифметическое значение признака; min, max – минимальное и максимальное значения признака;  $S_x$  – среднее квадратическое (стандартное) отклонение признака;  $m_x$  – ошибка среднего арифметического значения признака; V – коэффициент вариации значений признака, %.

Таблица 4

**Характер распространения можжевельника в зависимости от полноты древостоев**

ТЛУ	Доля площади насаждений с участием можжевельника, %				
	0,4 и менее	0,5-0,6	0,7-0,8	0,9-1,0	<b>В целом</b>
A <sub>1</sub>	44,5	46,1	49,3	10,2	<b>43,4</b>
A <sub>2</sub>	37,1	54,6	61,5	40,4	<b>58,9</b>
A <sub>3</sub>	8,2	13,5	14,8	18,0	<b>14,7</b>
A <sub>4</sub>	29,9	5,3	5,2	1,6	<b>5,3</b>
B <sub>2</sub>	22,7	21,7	27,3	4,7	<b>24,6</b>
B <sub>3</sub>	0,0	9,7	8,0	4,5	<b>7,7</b>
B <sub>4</sub>	10,1	19,4	9,1	2,2	<b>10,2</b>

Следует особо отметить, что в пределах каждого возрастного интервала отмечается большая варибельность встречаемости можжевельника в разных лесничествах, что связано не только с ошибками таксации насаждений, но и с другими факторами. Так, к примеру, на горях данный вид восстанавливается медленнее, чем на вырубках.

Таблица 5

**Характер распространения можжевельника в зависимости от возраста древостоев**

ТЛУ	Доля площади с участием можжевельника по классам возраста, %					
	1-20 лет	21-40 лет	41-60 лет	61-80 лет	81-100 лет	более 100 лет
A <sub>1</sub>	14,2	45,1	60,0	91,4	84,3	57,8
A <sub>2</sub>	16,7	53,3	59,7	75,9	77,6	63,1
A <sub>3</sub>	3,8	11,7	13,5	20,3	21,1	17,2
A <sub>4</sub>	0,0	0,0	8,7	12,3	20,1	17,6
B <sub>2</sub>	5,5	23,4	26,2	33,6	28,6	6,8
B <sub>3</sub>	4,0	5,3	4,4	9,4	32,1	36,4
B <sub>4</sub>	0,0	1,7	2,1	12,4	5,0	4,3

При искусственном способе лесовосстановления, особенно в очагах майского хруща, где практикуется создание загущенных лесных культур по сплошной обработке почвы, восстановление ценопопуляций можжевельника без специальных мер его искусственного введения вообще невозможно.

Генетическое разнообразие и неоднородность среды обитания определяют многомерную сложность популяционной структуры любого вида. Проведенные нами исследования показали наличие высокого полиморфизма в ценопопуляциях можжевельника во всех ТЛУ по форме крон, длине и цвету хвои, соотношению мужских и женских особей, размерам и форме шишкочкогод.

Установлено, что по мере возрастания влажности и трофности почв отмечается некоторое увеличение доли древовидной формы можжевельника при сохранении преобладания кустарниковой формы (табл. 6). Как у древовидной, так и у кустарниковой формы преобладают мужские особи, а доля женских особей варьирует в пределах 12–23 %. На размеры растений, величина которых варьирует в очень больших пределах, что свидетельствует о сложности структурной организации ценопопуляций, оказывает влияние полнота древостоя. Наибольших размеров растения можжевельника достигают в ТЛУ А<sub>3</sub> и В<sub>2</sub>.

Таблица 6

**Встречаемость и биометрические показатели двух форм можжевельника обыкновенного в разных типах лесорастительных условий Республики Марий Эл**

ТЛУ	Встречаемость, %	Высота, м			Диаметр кроны, м		
		М <sub>x</sub>	m <sub>x</sub>	V, %	М <sub>x</sub>	m <sub>x</sub>	V, %
Кустарниковая форма							
A <sub>1</sub>	92,0	1,2	0,21	49,5	1,70	0,17	42,9
A <sub>2</sub>	75,0	1,8	0,11	29,8	1,52	0,12	33,5
A <sub>3</sub>	73,7	1,8	0,08	30,1	1,88	0,40	34,9
B <sub>2</sub>	70,0	1,7	0,11	18,0	1,25	0,36	42,1
Древовидная форма							
A <sub>1</sub>	8,0	1,6	0,16	37,8	1,38	0,27	47,8
A <sub>2</sub>	25,0	2,3	0,16	30,7	1,68	0,37	49,4
A <sub>3</sub>	26,3	2,7	0,21	30,9	2,44	0,50	65,7
B <sub>2</sub>	30,0	2,7	0,19	29,1	2,87	0,30	25,7

Исходная жизненная форма можжевельника обыкновенного – одноствольное дерево, которое является выражением приспособления к наиболее благоприятным для роста условиям и чаще всего встречается на опушках и по краям лесных полян. В литературе встречаются сведения о находках крупных древовидных экземпляров данного вида в лесах Европейского Севера России [15–17]. В охранной зоне ГПЗ «Большая Кокшага» нами обнаружен экземпляр, имеющий возраст около 150 лет и достигающий 15,5 м высоты и 33,4 см в диаметре, что намного больше, чем у растений *J. communis*, произрастающих в соседнем Татарстане [4, 5]. Чаще всего на территории Марий Эл растения можжевельника нормального уровня жизненности встречаются в форме геоксильного (реже аэроксильного) кустарника, реже дерева высотой до 6–8 м. Одноствольные растения могут менять жизненную форму (рис. 3), становясь немногоствольным деревом или кустарником, переходить к вегетативному размножению и образовывать куртины разной формы и площади. Форма геоксильного кустарника образуется в результате по-

вреждения лидерной оси одноствольного растения и укоренения нижних ветвей, которые пригибаются к земле под тяжестью снега и впоследствии покрываются моховой дерниной. Можжевельник, будучи вегетативно подвижным растением, в ходе многократного повторения таких процессов образует куртины округлой или неправильной формы диаметром 6–8 м [11]. Е. А. Тишкина [7] отмечает образование куртин за счет естественного вегетативного размножения как одну из основных биологических особенностей *J. communis*. На месте придавленного к земле (чаще всего упавшим деревом) и впоследствии погребенного под моховым ковром ствола можжевельника формируется куртина линейной формы. При этом погребенный ствол становится ксилоризомом, точнее псевдоксилоризомом, большая часть его боковых побегов отмирает, а оставшиеся начинают расти ортотропно. Повреждение лидерных осей можжевельника связано, по-видимому, чаще всего с биотическим и антрополическим влиянием. Так, в заповеднике «Большая Кокшага» можжевельник входит в состав рациона лосей [18]. В результате объедания ими побегов происходит перевершинивание растений и образование многоствольной формы из одноствольной за счет активизации спящих почек, а также вегетативного возобновления при укоренении нижних ветвей. Вблизи населенных пунктов встречаются только кустарниковые формы этого растения, что связано с их повреждением людьми, использующими его ветви для хозяйственных целей и культовых обрядов. Отрицательное влияние на сохранность популяции можжевельника и его формовое разнообразие оказывают также пожары, которые происходят в основном в боровых условиях.

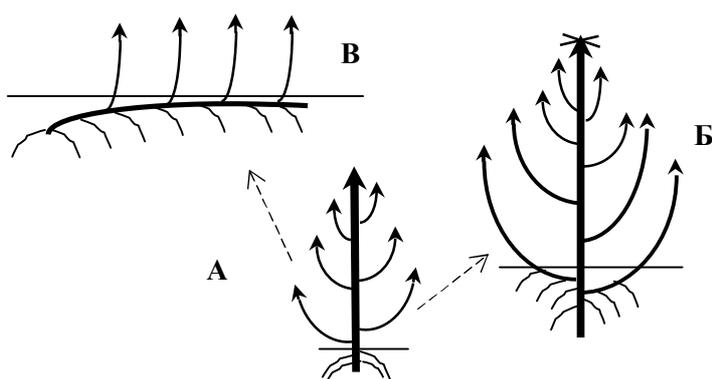


Рис. 3. Схемы изменения жизненной формы растений можжевельника обыкновенного: А – одноствольное дерево, Б – геоксилный кустарник, образовавшийся в результате повреждения лидерной оси одноствольного растения; В – куртина линейной формы на месте придавленного к земле (чаще всего упавшим деревом) и впоследствии погребенного под моховым ковром ствола можжевельника

происхождения) одновершинный с максимумом на вергинильной стадии. Раметы, по сравнению с генетами, имеют меньшую жизнеспособность: их доля резко снижается при переходе к генеративному периоду онтогенеза. Немногочисленные особи, достигающие генеративного состояния  $g_2$ , имеют пониженную, а  $g_3$  – сублетальную жизнеспособность. Ценопопуляции можжевельника в березняках молодые неполночленные (рис. 5). В отличие от сосняков, здесь присутствуют ювенильные растения, однако их жизнеспособность снижена вследствие слабой освещенности под пологом леса. Доля генет и рамет в ценопопуляциях примерно одинакова. Спектр рамет одновершинный: максимум численности приходится на виргинильные особи пониженной жизнеспособности. Спектр генет двухвершинный: лидирует группа растений ювенильного и виргинильного состояний.

Исследования показали, что ценопопуляции *J. communis* в сосновых лесах Марий Эл зрелые, но неполночленные, поскольку в них отсутствуют проростки и ювенильные растения (рис. 4). Генеты, т.е. особи семенного происхождения, составляют 54,5 %. Отсутствие семенного возобновления связано, по-видимому, с мощным развитием мохово-лишайникового и травяно-кустарничкового покрова, препятствующего развитию проростков. Спектр рамет (особей вегетативного

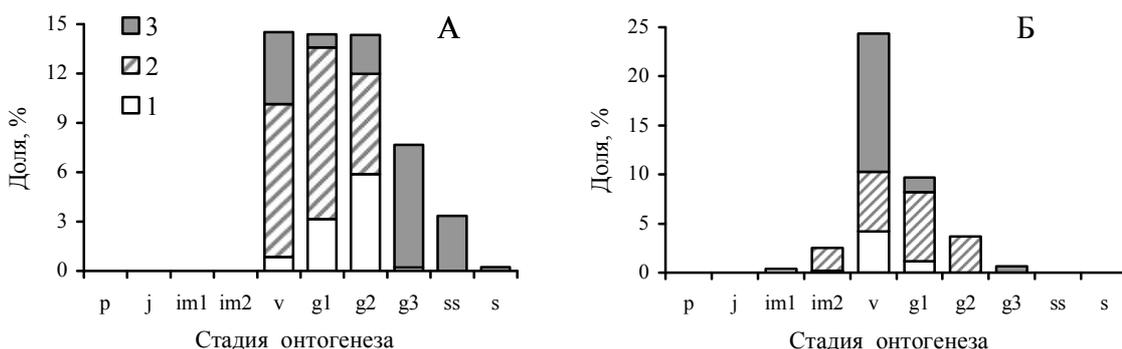


Рис. 4. Виталитетно-онтогенетическая структура ценопопуляций *J. commutis* в сосняках Марий Эл. А – генеты, Б – раметы. Жизненность особей: 1 – нормальная, 2 – пониженная, 3 – низкая

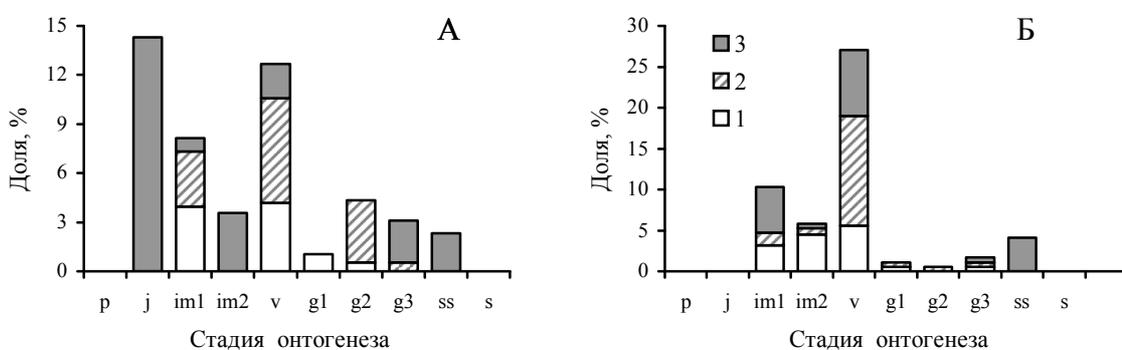


Рис. 5. Виталитетно-онтогенетическая структура ценопопуляций *J. commutis* в березняках Марий Эл. А – генеты, Б – раметы. Жизненность особей: 1 – нормальная, 2 – пониженная, 3 – низкая

Можжевельник обыкновенный произрастает не только под пологом древостоя, но и может иногда сформировать чистые сомкнутые заросли. Подобные довольно специфичные биогеоценозы, густота зарослей *J. commutis* в которых варьировала в пределах 2,5–5,6 тыс. экз./га, были обнаружены нами на правом берегу Волги напротив с. Кокшайск в орнитологическом заказнике «Водолеевский». Территория заказника является северной окраиной Приволжской возвышенности. Ее поверхность – всхолмленная возвышенная равнина с абсолютными высотами от 160 до 215 м, круто обрывающаяся к Волге и расчлененная долинами глубоко врезанных ее притоков. Преобладают светло-серые лесные дерново-подзолистые и дерново-карбонатные почвы, в отдельных местах присутствуют обнаженные известняки. В ценопопуляциях можжевельника доминируют древовидные формы в основном женской сексуализации; встречаются отдельные очень декоративные экземпляры древовидной узкопирамидальной формы с густой сизой кроной, имеющие высоту 10–12 м и диаметр 12–14 см. Как древовидные, так и кустарниковые формы можжевельника, четко различающиеся по своим морфометрическим параметрам и показателям качества семян (табл. 7), характеризуются в заказнике высокой урожайностью. Так, в частности, у кустарниковой формы, по сравнению с древовидной, длиннее хвоя, крупнее шишкоягоды и семена.

Исследования показали, что рост древовидных форм можжевельника обыкновенного в высоту и по диаметру до возраста 20 лет происходит очень медленно (рис. 6). В возрасте 25–35 лет происходит резкое увеличение размеров растений, а затем темпы

Т а б л и ц а 7

**Биометрические показатели и урожайность различных форм можжевельника обыкновенного  
в заказнике «Водолеевский» по данным учета 2010 года**

Показатели	$M_x$	$\pm m_x$	$\pm S_x$	V, %
Древовидная форма				
Высота, м	4,13	$\pm 0,16$	$\pm 1,06$	25,57
Диаметр, см	4,02	$\pm 0,19$	$\pm 1,23$	30,68
Длина хвои, мм	0,59	$\pm 0,02$	$\pm 0,10$	17,78
Балл семеношения	1,89	$\pm 0,23$	$\pm 0,90$	47,61
Масса 100 штук шишкочкогод, г	8,02	$\pm 0,16$	$\pm 0,35$	4,40
Масса 1000 штук семян, г	13,80	$\pm 0,70$	$\pm 2,10$	15,10
Доброкачественность семян, %	50,00	$\pm 5,50$	$\pm 17,50$	35,00
Выход семян, %	23,10	$\pm 1,40$	$\pm 4,20$	16,40
Кустарниковая форма				
Высота, м	1,90	$\pm 0,21$	$\pm 0,62$	32,47
Диаметр, см	1,60	$\pm 0,19$	$\pm 0,58$	35,44
Длина хвои, мм	0,70	$\pm 0,04$	$\pm 0,17$	24,47
Балл семеношения	2,44	$\pm 0,44$	$\pm 1,33$	54,54
Масса 100 штук шишкочкогод, г	9,40	$\pm 0,07$	$\pm 0,77$	5,10
Масса 1000 штук семян, г	19,60	$\pm 0,80$	$\pm 2,40$	12,00
Доброкачественность семян, %	46,60	$\pm 4,70$	$\pm 14,10$	31,00
Выход семян, %	26,60	$\pm 1,60$	$\pm 4,80$	18,00

роста постепенно снижаются. Для аппроксимации исходных данных лучше всего подходит, как показали расчеты, функция Вейбулла:

$$H = 12,5 \cdot \{1 - \exp[-(A/43,93)^{2,424}]\}; R^2 = 0,973;$$

$$D = 14,2 \cdot \{1 - \exp[-(A/42,41)^{2,780}]\}; R^2 = 0,962;$$

где H – высота растений, м; D – диаметр растений у шейки корня, см; A – возраст растений, лет.

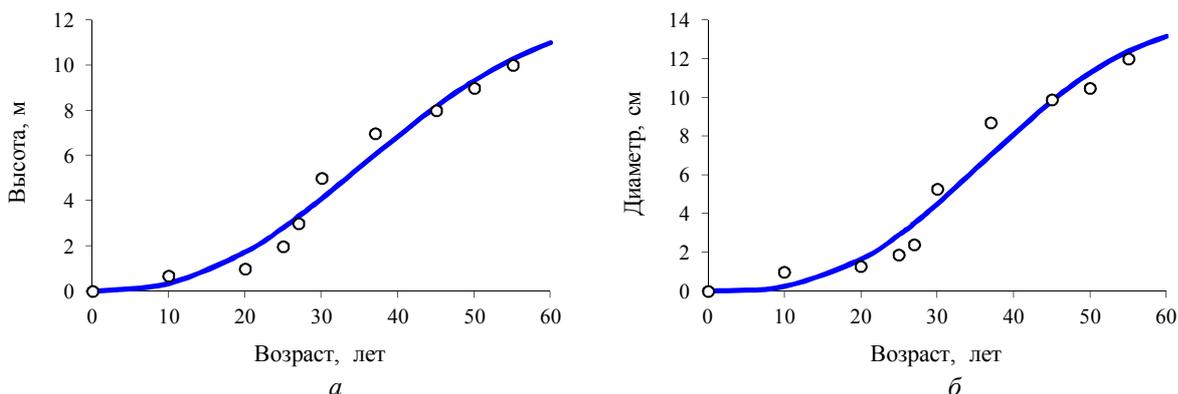


Рис. 6. Ход роста древовидных форм можжевельника в высоту (а) и по диаметру (б)

Для сохранения генофонда естественных популяций *J. communis* нами проводился отбор наиболее ценных декоративных и урожайных форм с последующим использованием их в качестве маточников для получения черенков и выращивания саженцев. Проведенные нами опыты показали, что укореняемость черенков данного вида при обра-

ботке их стимулятором роста эпин-экстра составила 85 %, а гетероауксином – 82 %, что на 8–10 % выше, чем в контроле [10]. Укоренение черенков в парниках холодного типа продолжалось в течение одного вегетационного периода, затем они пересаживались в отделение доращивания. Высота растений в возрасте 1+1 год составляла  $21,9 \pm 1,9$  см, а в возрасте 1+2 года достигала 54,5 см. Наиболее высокая приживаемость и прирост отмечены у черенковых саженцев с закрытой корневой системой.

### Выводы и практические предложения

1. Площадь насаждений, в которых можжевельник обыкновенный присутствует в составе подлеска, составляет порядка 109 тыс. га, или 9,5 % всего лесного фонда Марий Эл, однако распространение его по территории республики крайне неоднородно. Чаще всего в условиях Марий Эл он встречается в ТЛУ А<sub>2</sub> в древостоях возрастом от 60 до 100 лет и полнотой 0,7–0,8 единиц. По мере увеличения влажности и богатства почвы экологический оптимум встречаемости вида сдвигается в сторону снижения полноты древостоя. Можжевельник произрастает не только под пологом древостоя, но и может иногда формировать чистые сомкнутые заросли густотой 2,5–5,6 тыс. экз./га.

2. Можжевельнику обыкновенному в условиях Марий Эл присущ высокий полиморфизм по соотношению в ценопопуляциях жизненных форм, мужских и женских особей, длине и цвету хвои, размерам и форме шишкочагод. Во всех ТЛУ преобладает кустарниковая форма растений, однако по мере возрастания влажности и трофности почв происходит некоторое увеличение доли древовидной формы. Жизненная форма *J. communis* определяется как генотипом, так и воздействием на растения абиотических и биотических факторов. Как у древовидной, так и у кустарниковой формы преобладают мужские особи, а доля женских особей варьирует в пределах 12–23 %.

3. Ценопопуляции *J. communis* в Марий Эл в основном неполночленные, поскольку в них отсутствуют проростки и ювенильные растения. В сосновых лесах они зрелые, а в березовых молодые, состоящие из особей как семенного, так и вегетативного происхождения, доли которых примерно одинаковы. Раметы, по сравнению с генетами, имеют меньшую жизнеспособность: их доля резко снижается при переходе к генеративному периоду онтогенеза.

4. Рост древовидных форм *J. communis* в Марий Эл в высоту и по диаметру до возраста 20 лет происходит очень медленно. В возрасте 25–35 лет происходит резкое увеличение размеров растений, а затем темпы роста постепенно снижаются. Наибольших размеров растения можжевельника достигают в ТЛУ А<sub>3</sub> и В<sub>2</sub>. Иногда встречаются экземпляры, имеющие возраст около 150 лет и достигающие высоты 15,5 м при диаметре ствола 33,4 см.

5. Для сохранения ценного генофонда естественных популяций можжевельника целесообразен отбор наиболее ценных декоративных и урожайных форм с последующим использованием их в качестве маточников для получения черенков и последующего выращивания саженцев. Для повышения укореняемости черенков необходимо использовать стимуляторы роста эпин-экстра и гетероауксин, а для повышения приживаемости и роста растений – саженцы с закрытой корневой системой.

### Список литературы

1. Аксенова, Н.А. Можжевельник обыкновенный / Н.А. Аксенова // Биологическая флора Московской области. – М.: МГУ, 1976. – Вып. 3. – С. 28-33.
2. Мухамедшин, К.Д. Можжевельниковые леса (леса, редколесья, заросли) / К.Д. Мухамедшин, Н.К. Таланцев. – М.: Лесная промышленность, 1982. – 185 с.
3. Пчелин, В.И. Дендрология. Учебник / В.И. Пчелин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. – 519 с.

4. *Салахов, Н.В.* Разнообразие жизненных форм в популяциях можжевельника обыкновенного в северных районах Республики Татарстан / Н.В. Салахов // Поливариантность развития организмов, популяций и сообществ. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2006. – С. 137-141.
5. *Салахов Н.В.* Эколого-фитоценотическая приуроченность, жизненные формы и популяционная биология *Juniperus communis* L. в Республике Татарстан: автореф. дис... канд. биол. наук: 03.00.16 / Н. В. Салахов. – М., 2009. – 20 с.
6. *Пайбердин, М.В.* Дикорастущие растения и их использование / М.В. Пайбердин, А.А. Степанова // Охрана и обогащение природы Марийской АССР: сб. статей. – Йошкар-Ола: ПЛТИ, 1967. – С.59-66.
7. *Тишкина, Е.А.* Закономерности распространения, формовое разнообразие и экологическая приуроченность *Juniperus communis* L. на Урале: автореф. дис... канд. с.-х. наук: 06.03.03 / Е.А. Тишкина. – Екатеринбург, 2009. – 20 с.
8. *Данилов, М.Д.* Растительность Марийской АССР / М.Д. Данилов. – Йошкар-Ола: Марийское кн. изд-во, 1956. – 146 с.
9. *Чистяков, А.Р.* Типы лесов Марийской АССР (и сопредельных районов) / А.Р. Чистяков, А.К. Денисов. – Йошкар-Ола: Маркнигоиздат, 1959. – 75 с.
10. *Панюшкина, Н.В.* Внутрипопуляционный полиморфизм и способы размножения можжевельника обыкновенного в лесном Заволжье / Н.В. Панюшкина // Международное сотрудничество в лесном секторе: баланс образования, науки и производства: Материалы междунар. конф. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2009. – С.14-17.
11. *Бекмансуров, М.В.* О разнообразии жизненных форм *Juniperus communis* L. в условиях Марийского Заволжья / М.В. Бекмансуров // Актуальные проблемы экологии, биологии и химии: Материалы Всероссийской конференции. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2010.– С. 39-42.
12. *Харламова, С.В.* Размножение можжевельника обыкновенного в Республике Марий Эл: автореф. дис... канд. с.-х. наук: 06.03.01 / С.В. Харламова – Йошкар-Ола, 1997. – 24 с.
13. ГОСТ 13056.8-97 Семена деревьев и кустарников. Метод определения доброкачественности. – Минск: Изд-во стандартов, 1998. – 12 с.
14. *Горохова, Т.А.* Онтогенез можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.) / Т.А. Горохова, М.В. Бекмансуров, Н.В. Салахов / Онтогенетический атлас растений: научное издание.– Йошкар-Ола: МарГУ, 2007. – Т. V. – С. 41-46.
15. *Исполатов, Е.* Гигантские можжевельники / Е. Исполатов // Природа. – 1939. – № 2. – С. 125.
16. *Березина, Н.А.* Древовидные формы можжевельника (*Juniperus communis* L.) на торфяных болотах Национального парка «Русский Север» (Вологодская область) / Н.А. Березина, Е.М. Воронцова // Болотные экосистемы севера Европы: разнообразие, динамика, углеродный баланс, ресурсы и охрана. – Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2006. – С. 42-48.
17. *Сурсо, М.В.* Древовидный можжевельник на Европейском Севере России / М.В. Сурсо, О.С. Барзуг // ИВУЗ: Лесной журнал. – 2010. – № 2. – С. 30-37.
18. Зимние кормовые ресурсы и численность лося в заповеднике «Большая Кокшага» / А.Ф. Мансуров, А.В. Полевщиков, В.П. Золотухин и др. // Экология и леса Поволжья. Сб. науч. ст.– Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – Вып. 2. – С. 265-274.

Статья поступила в редакцию 01.07.11.

*N. V. Panushkina, M. A. Karaseva,  
Yu. P. Demakov, M. V. Bekmansurov, V. N. Karasev*

#### GROUND CEDAR CENOPOPULATIONS STRUCTURE AND DISTRIBUTION IN THE REPUBLIC OF MARI EL

*The data defining the rules of spatial and biotopical distribution of the ground cedar in the Republic of Mari El, its ontogenetic structure, diversity of species, growth and its reproductive power in different forest sites are given.*

**Key words:** ground cedar, cenopopulation, distribution, diversity of species, ontogenetic structure, growth, fructification.

*ПАНЮШКИНА Наталья Владимировна* – аспирант кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ МарГТУ. Область научных интересов – искусственное лесовосстановление и лесоразведение. Автор пяти публикаций.

E-mail: PanyushkinaNV@marstu.net

*КАРАСЕВА Маргарита Антиповна* – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ МарГТУ. Область научных интересов – лесные культуры, селекция и семеноводство. Автор 140 публикаций, в том числе двух монографий и четырех учебных пособий.

E-mail: KarasevaMA@marstu.net

*ДЕМАКОВ Юрий Петрович* – доктор биологических наук, профессор кафедры управления природопользованием и лесозащиты МарГТУ. Область научных интересов – биогеоценология. Автор 220 научных и учебно-методических работ, в том числе трех монографий и пяти учебных пособий.

E-mail: DemakovYP@marstu.net

*БЕКМАНСУРОВ Минханаф Валлиулович* – кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники, экологии и физиологии растений Марийского государственного университета. Область научных интересов – популяционная экология растений, биогеоценология. Автор более 60 публикаций и четырех учебных пособий.

E-mail: botanica@margu.mari.ru

*КАРАСЕВ Валерий Николаевич* – доктор сельскохозяйственных наук, профессор МарГТУ. Область научных интересов – физиология древесных растений. Автор свыше 100 публикаций.

E-mail: KarasevaMA@marstu.net

## ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

УДК 630.378, 539.3

*Ю. В. Лоскутов*

### РАСЧЁТ КОНСТРУКЦИЙ КОМПОЗИТНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ДЛЯ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПО УЛУЧШЕНИЮ ЛЕСОСПЛАВНЫХ ПУТЕЙ

*Предложена методика расчёта трубопроводов из полимерных композитных материалов для гидромеханизации работ по улучшению лесосплавных путей. На основании линейной теории многослойных анизотропных оболочек и метода конечных элементов выполнено исследование упругого деформирования, напряжённого состояния и прочности тонкостенных криволинейных труб при чистом изгибе. Труба представлена в виде тонкостенной торообразной оболочки с переменными параметрами армирования и толщиной стенки. Результаты расчётов сопоставлены с данными известных решений и экспериментов. Исследована зависимость гибкости трубы от внутреннего давления, геометрических и структурных параметров. Проведён анализ прочности многослойного композитного образца. В зависимости от геометрии, структуры пакета слоёв и схемы армирования дан сопоставительный анализ результатов.*

**Ключевые слова:** *трубопроводы, полимерные композиционные материалы, лесосплавные пути, прочность, жёсткость, МКЭ.*

**Введение.** Для повышения лесопропускной способности на лесосплавных реках проводят мелиоративные работы (простые и сложные). Сложные мелиоративные работы, предусматривающие проведение русловыправительных и дноуглубительных работ и работ по спрямлению речного русла, существенно изменяют уровень и скоростной режим, а также плановую конфигурацию водотоков [1]. Для производства дноуглубительных работ на лесотранспортных водных путях используют землесосно-рефулёрные снаряды различных модификаций. Одним из способов отведения грунта с земснарядов землесосного типа является транспортировка обогащенной пульпы по специально смонтированным трубам – пульпопроводам (или грунтопроводам).

Пульпопровод – сооружение для размещения и поддержания на плаву трубопровода, по которому производится гидротранспорт пульпы от грунтового насоса на берег (рис. 1). При создании трубопроводов для земснарядов применяют различные материалы. Металлические трубопроводы (пульпопроводы) используются с начала становления гидромеханизации и по настоящее время [2]. Однако, в связи с большим весом, низкой износостойкостью и сложностью при монтаже, им на замену все чаще приходят современные пульпопроводы из полимерных композитных материалов (ПКМ).

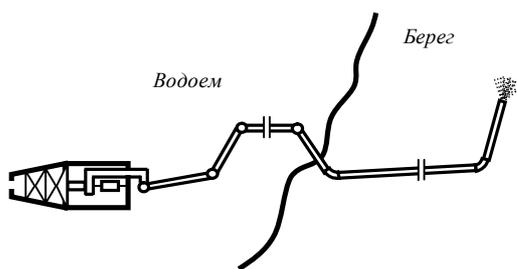


Рис. 1

Наиболее напряженными (в то же время и наиболее сложными в технологическом отношении) элементами трубопроводов являются криволинейные элементы (отводы или гибы). С одной стороны, они используются для обхода «препятствий», с другой – служат компенсаторами упругих деформаций. Упругие свойства гибов в решающей степени определяют поведение трубопровода под нагрузкой в целом.

Анализ литературы показывает [3], что существующие математические модели и методы относятся главным образом к конструкциям, изготовленным из традиционных (однородных и изотропных) материалов. Исследования с учетом особенностей слоисто-волоконистой структуры криволинейных трубопроводов из современных ПКМ практически отсутствуют.

Широкое применение композиционных материалов в современных конструкциях, стремление максимально использовать их достоинства определяет актуальность разработки методов исследования деформирования и напряженного состояния многослойных труб и трубопроводов, в том числе применяемых в гидромеханизации работ по улучшению лесосплавных путей, поэтому одной из актуальных задач является задача расчета криволинейных труб из многослойных композитов.

**Целью** работы является разработка методики расчета композитных трубопроводов для гидромеханизации работ по улучшению лесосплавных путей.

#### **Решаемые задачи:**

- 1) разработка конечно-элементной математической (МКЭ) модели деформирования под нагрузкой криволинейных и прямолинейных участков трубопроводов, изготовленных из ПКМ методом намотки;
- 2) обоснование достоверности предложенной математической модели;
- 3) проведение расчетно-аналитического эксперимента с целью изучения распределений полей напряжений и деформаций под различными видами нагружения;
- 4) анализ влияния на напряженное и деформированное состояние технологии и способа намотки, внутреннего давления. Выявление основных зависимостей.

**Математическое моделирование.** С целью анализа упругого деформирования, напряженного состояния и прочности при изгибе многослойных композитных труб разработана конечно-элементная модель [3]. Криволинейная труба рассматривается как торообразная тонкая оболочка, плавно сопряженная с цилиндрическими оболочками (рис. 2). Для дискретизации оболочки используется треугольный конечный элемент (КЭ). Это универсальный КЭ естественной кривизны, предназначенный для аппроксимации произвольных поверхностей [4]. Он имеет 6 узлов по 5 степеней свободы в каждом. Расчетные соотношения строятся на основе смешанной вариационной формулировки принципа Хеллингера-Рейсснера и теории анизотропных слоистых оболочек с использованием гипотез Тимошенко. На основе независимой интерполяции перемещений и деформаций строится матрица жёсткости КЭ.

Система разрешающих уравнений МКЭ имеет вид:

$$[C(p_m)]\{q\} = \{P\}, \quad (1)$$

где  $[C(p_m)]$  – матрица жёсткости конструкции,  $\{P\}$  – вектор нагрузки,  $p_m$  – интенсивность внутреннего давления. Оболочка считается как предварительно напряжённая конструкция: учитывается влияние мембранных усилий. Мембранные усилия определяются в зависимости от внутреннего давления по формулам безмоментной теории

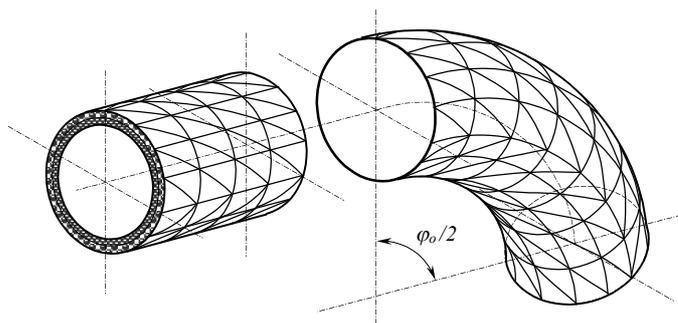


Рис. 2. Расчетная модель

Рассматривается статическое нагружение трубы изгибающим моментом. Момент действует в плоскости кривизны трубы. Задача рассматривается как физически и геометрически линейная. Перемещения и деформации считаются малыми, геометрические параметры: углы укладки волокон, толщины слоёв и пакета в целом в процессе нагружения не изменяются.

Коэффициенты матрицы жёсткости КЭ вычисляются численно посредством семиточечной схемы квадратур Гаусса на треугольной области. В каждой точке интегрирования рассчитываются параметры армирования, толщины стенки и эффективные упругие постоянные в зависимости от упругих свойств волокна и матрицы, а также объёмной доли волокон в композите [5]. Анализ распределений углов и коэффициентов армирования, а также эффективных упругих постоянных для многослойных криволинейных труб в зависимости от технологической схемы намотки представлен в [3, 5]. Для расчёта упругих постоянных пакета слоёв используется структурная модель [6].

С целью оценки эффективности и точности расчёта выполнено тестирование модели. В [3] показано применение разработанной модели МКЭ к расчету металлических труб из однородных и изотропных материалов. Дана оценка точности, на ряде примеров доказана сходимость приближенных решений МКЭ к точным аналитическим решениям и экспериментам.

Рассмотрим многослойные перекрестно-армированные трубы. На рис. 3 представлена тонкостенная цилиндрическая оболочка, нагруженная сосредоточенной силой  $P = 0,98$  кН. Геометрические характеристики оболочки:  $r = 0,112$  м;  $r/h = 29,1$ ;  $L = 2,37 r$ . Края оболочки шарнирно закреплены «по кольцу». Оболочка изготовлена из ортогонально армированного стеклопластика (стеклотекстолита): модули упругости стенки  $E_x = 19,6$  ГПа,  $E_y = 30,5$  ГПа; модули сдвига  $G_{xy} = 4,76$  ГПа,  $G_{xz} = G_{yz} = 2,06$  ГПа; коэффициенты Пуассона  $\nu_{xy} = 0,0915$ ,  $\nu_{yx} = 0,1425$ . Здесь  $r$  – средний радиус поперечного сечения;  $h$  – толщина стенки. Индексы  $x$ ,  $y$  и  $z$  определяют осевое, окружное и радиальное направления соответственно.

Результаты расчёта МКЭ сопоставлены с данными аналитического решения и эксперимента [7]. Анализ результатов (рис. 3) показывает, что расчёт МКЭ для прогиба  $w$  в радиальном направлении практически совпадает с известными данными.

Исследуем гибкость серии из четырех образцов с углами  $\varphi_0 = 180^\circ$ . Геометрические размеры образцов приведены в табл. 1. Здесь же указаны номинальные толщина стенки и углы укладки волокон на экваторе. Образцы изготовлены путём перекрестной спиральной намотки стеклоткани Т-10, предварительно пропитанной связующим УПЭ-22-27. Ширина ленты – 30 мм, номинальное число слоёв – шесть. Упругие характеристики стеклоткани:  $E_1 = 29,4$  ГПа,  $E_2 = 17,8$  ГПа,  $G_{12} = 3,01$  ГПа,  $\nu_{12} = 0,123$  получены экспериментально [8] путём испытаний трубчатых и плоских образцов на растяжение, сжатие и кручение (сдвиг). Индекс 1 обозначает направление основы ткани, индекс 2 – направление утка.

тонких торообразных оболочек. При этом интенсивность внутреннего давления считаем как  $p_m = p + \rho_{ж} v_m^2$ , где  $p$  и  $v_m$  – составляющие давления и скорости стационарного внутреннего потока,  $\rho_{ж}$  – плотность жидкости. Предполагается, что жидкость (пульпа) идеальная, а поток – напорный.

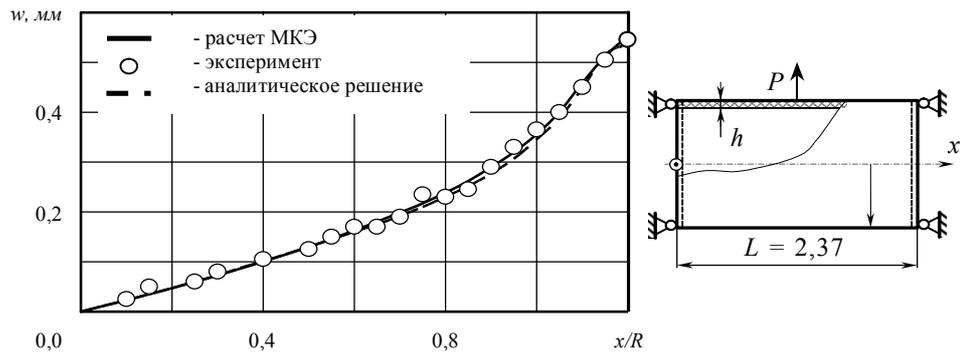


Рис. 3. Цилиндрическая оболочка

В табл.1 расчётные коэффициенты увеличения гибкости  $k$  сопоставлены с данными эксперимента [8]. Коэффициент  $k$  показывает, во сколько раз гибкость криволинейной трубы больше гибкости прямолинейной трубы-аналога. Он определяется как отношение приращений кривизн:  $k = \bar{K}_o / K_o$ , где  $\bar{K}_o = \Delta\varphi_o / (R\varphi_o)$ ,  $K_o = M_z / (E_x I_z)$ . Здесь  $\Delta\varphi_o$  – приращение центрального угла  $\varphi_o$  криволинейного участка при действии изгибающего момента  $M_z$ ,  $E_x I_z$  – жёсткость поперечного сечения трубы на изгиб. Константируем, результаты расчёта МКЭ удовлетворительно согласуются с результатами эксперимента [8]. Расхождение результатов объясняется некоторой неопределённостью граничных условий, связанных с передачей нагрузки (изгибающих моментов) на опытные образцы.

Таблица 1

Радиус кривизны оси трубы $R$ , см	Угол укладки волокон на экваторе $\theta_m$ , °	Средний радиус поперечного сечения $r$ , см	Номинальная толщина стенки трубы $h_m$ , см	$r/R$	$r/h_m$	Коэффициенты увеличения гибкости	
						Эксперимент [8]	Расчёт МКЭ
8,0	85,6	4,16	0,191	0,52	21,8	13,9	12,5
9,0	83,5	3,12	0,179	0,35	17,4	8,1	6,7
8,0	79,8	2,13	0,172	0,27	12,4	4,9	3,1
12,0	78,9	2,19	0,163	0,18	13,5	3,2	2,3

**Анализ жёсткости композитных образцов.** Рассмотрим образец криволинейной трубы с углом гиба  $\varphi_o=180^\circ$ . Геометрические размеры трубы приведены в табл. 2, где  $R$  – радиус кривизны оси,  $r$  – средний радиус поперечного сечения,  $h_m$  – толщина стенки на экваторе. Толщина стенки на экваторе тора равняется толщине стенки примыкающих цилиндрических оболочек.

Таблица 2

$R$ , мм	$r$ , мм	$h_m$ , мм	$r/R$	$r/h_m$
190,5	62,74	1,57	0,329	40,0

Труба изготовлена путём перекрестной спиральной намотки двух симметричных систем волокон на оправку. Волокна уложены по геодезическим траекториям. Материал трубы – органический Kevlar 49/PR-286 имеет следующие характеристики [9]:  $E_1=64,1$  ГПа,  $E_2 = 5,38$  ГПа,  $G_{12} = 2,07$  ГПа,  $\nu_{12}=0,35$ . Индексы 1 и 2 соответствуют направлениям вдоль и поперёк волокон. В результате намотки формируется симметричная относительно срединной поверхности структура пакета слоёв с переменными параметрами армирования. Распределения параметров армирования и толщины стенок показаны в [3, 5].

На рис.2 представлена расчётная модель композитного образца. С учётом симметрии изображена лишь его половина. Использована регулярная конечно-элементная сетка  $M \times N$ , где  $M = 36$  и  $N = 15$  – количество делений в окружном и осевом направлениях соответственно. Расчётная модель образца включает 1080 КЭ с 11315 степенями свободы.

На рис. 4 представлены графики коэффициентов увеличения гибкости  $k$  в зависимости от угла укладки волокон на экваторе  $\theta_m$  и параметра тонкостенности  $r/h_m=22,5$ ; 40; 50 и 69. Констатируем, что при увеличении угла  $\theta_m$  и толщины стенки  $h_m$  гибкость криволинейной трубы уменьшается. Труба при изгибе становится более жёсткой.

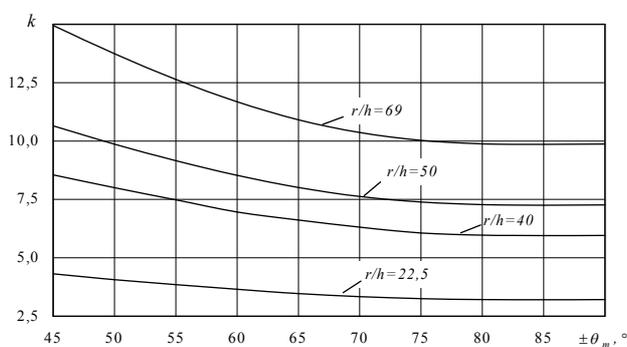


Рис. 4. Зависимость коэффициента  $k$  от угла укладки  $\theta_m$  и параметра тонкостенности  $r/h_m$

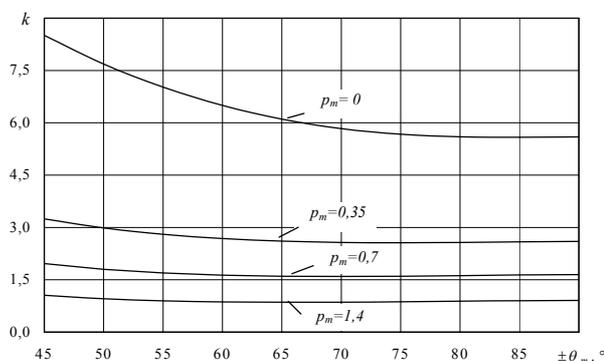


Рис. 5. Зависимость коэффициента  $k$  от угла укладки волокон  $\theta_m$  и внутреннего давления  $p_m$ .

На рис. 5 представлены графики зависимостей коэффициентов увеличения гибкости  $k$  от угла  $\theta_m$  и интенсивности внутреннего давления  $p_m = 0$ ; 0,35; 0,7 и 1,4 МПа. Из графиков видно, что с увеличением внутреннего давления  $p_m$  и угла  $\theta_m$  гибкость криволинейной трубы уменьшается. При давлении  $p_m = 1,4$  МПа расчётные значения коэффициентов  $k$  приближаются к единице. При повышенном давлении эффект Кармана (сплющивание поперечного сечения при изгибе) заметно ослабляется.

**Оценка прочности композитных образцов.** Расчётная оценка прочности композитного образца включает несколько стадий, соответствующих естественным структурным уровням материала. На каждой стадии определяются осреднённые физико-механические характеристики. Упругие свойства композита описываются при помощи модели ортотропного тела. Применяется схема послойного анализа [6, 10], которая включает:

- расчёт приведённых упругих характеристик пакета с учётом свойств однонаправленного слоя и структуры материала;
- формирование и решение системы разрешающих уравнений (1), расчёт узловых перемещений и внутренних усилий в стенке;
- определение приведённых напряжений и деформаций однонаправленного слоя в зависимости от внутренних усилий в стенке (обратный переход).

Отметим, что при нагружении однонаправленного слоя реализуются различные формы разрушения: разрыв волокон, разрыв связующего, расслоение материала, разрыв адгезионных связей волокон и связующего, потеря устойчивости волокон при сжатии и т.д. Эти формы считаются взаимно независимыми. Критерии прочности имеют следующий вид [11, 12]:

$$F_{-1} \leq \sigma_{11} \leq F_{+1}; \quad F_{-2} \leq \sigma_{22} \leq F_{+2}; \quad |\sigma_{12}| \leq F_{12}, \quad (2)$$

где  $F_{+1}$  и  $F_{+2}$  – предельные растягивающие напряжения вдоль и поперёк волокон,  $F_{-1}$  и  $F_{-2}$  – соответственно предельные сжимающие напряжения,  $F_{12}$  – предельное касательное напряжение чистого сдвига;  $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{22}$ ,  $\sigma_{12}$  – расчётные напряжения, записанные в главных осях анизотропии материала. Прочность однонаправленного слоя при плоском напряжённом состоянии характеризуется пятью независимыми пределами прочности, каждый из которых определяется на основе отдельного эксперимента.

Следует иметь в виду, что прочность органических волокон, волокон стекла, бора, углерода на разрыв на один – два порядка выше прочности матрицы, поэтому, при прочих равных условиях, характеристики прочности однонаправленного слоя пропорциональны содержанию волокон. Считаем, что с увеличением коэффициента армирования  $\psi$  предел прочности вдоль волокон линейно возрастает, то есть:

$$F_{+1} = \psi \sigma' + (1 - \psi) \sigma'' \quad (3)$$

Здесь  $\sigma'$  и  $\sigma''$  – пределы прочности волокна и матрицы соответственно. Соотношение (3) отражает так называемое «правило смесей» – вклад каждого компонента пропорционален его объёмной доле в композите.

При анализе прочности однонаправленного слоя определяются напряжения вдоль и поперёк волокон ( $\bar{\sigma}_{11}$  и  $\bar{\sigma}_{22}$ ), а также касательные напряжения  $\bar{\sigma}_{12}$  в точках наружной и внутренней поверхностей стенки центрального сечения (рис. 6,7). Напряжения представляются в безразмерном виде:  $\bar{\sigma} = \sigma / \sigma_0$ , где  $\sigma_0 = M_z r / I_z$ ,  $I_z$  – осевой момент инерции поперечного сечения относительно нейтральной оси,  $M_z = 0,1$  Нм – изгибающий момент.

На рис. 6 показано распределение нормальных напряжений  $\bar{\sigma}_{11}$  и  $\bar{\sigma}_{22}$  соответственно вдоль (рис. 6, а, б) и поперёк волокон (рис. 6, в, г); на рис. 7 – распределение касательных напряжений  $\bar{\sigma}_{12}$ . В распределении напряжений наблюдается определённая симметрия: напряжения на наружной поверхности (рис. 6, а, в) с точностью до 7–8 % равны напряжениям на внутренней поверхности (рис. 6, б, г) трубы.

**Интерпретация результатов вычислительного эксперимента.** Сравнительный анализ кривых на рис. 6,7 показывает, что при увеличении угла укладки волокон на экваторе тора:  $\theta_m = \pm 50^\circ, \pm 60^\circ, \pm 70^\circ$  и  $90^\circ$  максимальные значения нормальных напряжений  $\bar{\sigma}_{11}$  увеличиваются, а  $\bar{\sigma}_{22}$  – наоборот, уменьшаются. Максимальные значения касательных напряжений  $\bar{\sigma}_{12}$  при увеличении угла  $\theta_m$  сначала увеличиваются, затем – уменьшаются. Наименьшие значения напряжений  $\bar{\sigma}_{12}$  получаются при  $\theta_m = 90^\circ$ .

Наиболее напряжённой областью при изгибе оказывается область наружной поверхности трубы с координатой  $\alpha \approx 90^\circ$  (на экваторе тора). Эта область работает в условиях двухосного растяжения (причём как вдоль, так и поперёк волокон) и сдвига. Здесь нормальные напряжения  $\bar{\sigma}_{22}$  и касательные напряжения  $\bar{\sigma}_{12}$  получаются одного порядка с нормальными напряжениями  $\bar{\sigma}_{11}$ , действующими вдоль волокон.

Армированный пластик – материал с ярко выраженной анизотропией прочности. Для однонаправленного органопластика пределы прочности при растяжении вдоль и поперёк волокон, а также при чистом сдвиге относятся как [13]

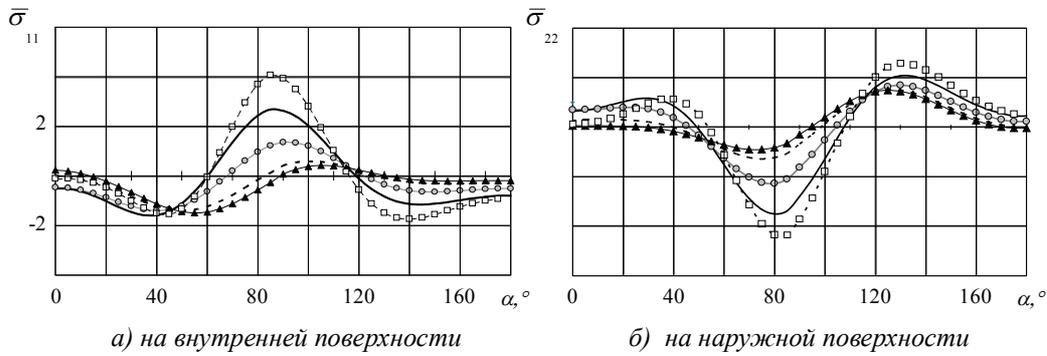
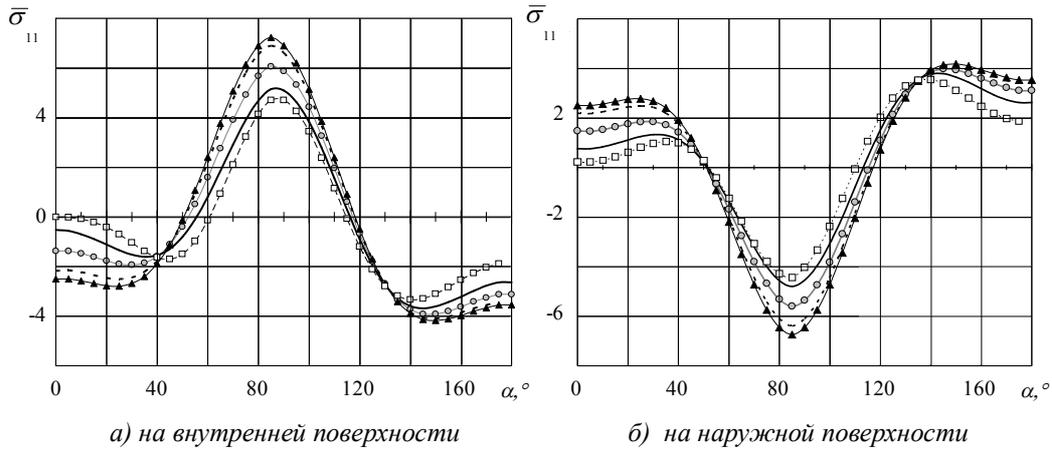


Рис. 6. Нормальные напряжения вдоль  $\bar{\sigma}_{11}$  и поперек волокон  $\bar{\sigma}_{22}$

—▲— —  $\theta_m = 90^\circ$ ;    - - - - -  $\theta_m = \pm 80^\circ$ ;    —○— —  $\theta_m = \pm 70^\circ$ ;  
 — — — — —  $\theta_m = \pm 60^\circ$ ;    - -□- -  $\theta_m = \pm 50^\circ$ .

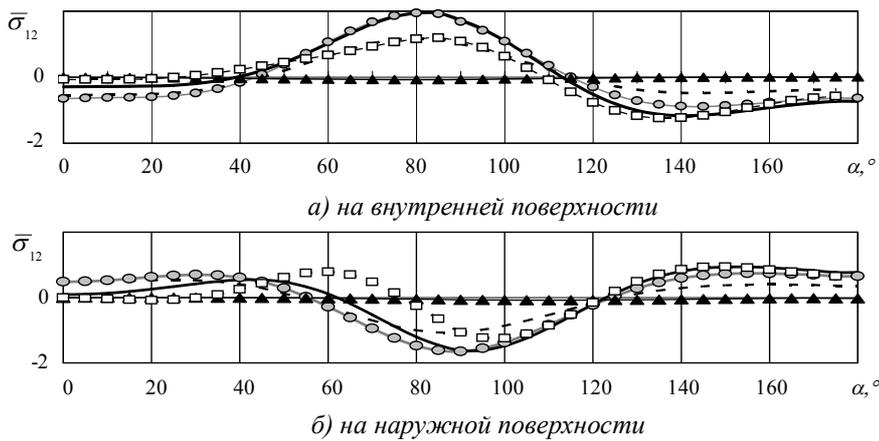


Рис. 7. Касательные напряжения  $\bar{\sigma}_{12}$

—▲— —  $\theta_m = 90^\circ$ ;    - - - - -  $\theta_m = \pm 80^\circ$ ;    —○— —  $\theta_m = \pm 70^\circ$ ;  
 — — — — —  $\theta_m = \pm 60^\circ$ ;    - -□- -  $\theta_m = \pm 50^\circ$ .

$$\frac{F_{+1}}{F_{+2}} \approx 80 \div 110 \quad \text{и} \quad \frac{F_{+1}}{F_{12}} \approx 50 \div 70. \quad (4)$$

В табл. 3 дано сопоставление относительных значений максимальных расчётных напряжений  $\bar{\sigma}_{11}/\bar{\sigma}_{22}$  и  $\bar{\sigma}_{11}/\bar{\sigma}_{12}$  в зависимости от угла  $\theta_m$ .

Т а б л и ц а 3

Угол $\theta_m, ^\circ$	Отношение максимальных напряжений	
	$\frac{\bar{\sigma}_{11}}{\bar{\sigma}_{22}}$	$\frac{\bar{\sigma}_{11}}{\bar{\sigma}_{12}}$
90	17	97
80	11,5	14,5
70	4,5	3,1
60	1,9	2,6
50	1,2	3,8

Очевидно, форма разрушения зависит от соотношений напряжений. Сопоставляя отношения (4) с данными табл.3, заключаем, что при чистом изгибе многослойного образца форма разрушения однонаправленного слоя не зависит от угла укладки волокон на экваторе. При любом угле  $\theta_m$  вначале будет иметь место разрыв связующего или адгезионных связей волокон и связующего. Это приводит к образованию трещин, направленных вдоль волокон.

При работе однонаправленного композита в составе пакета многослойной трубы, содержащего разноориентированные слои, после разрушения отдельного слоя этот слой будет продолжать работать и вносить вклад в общую несущую способность конструкции. В то же время разрушение отдельного слоя приводит к зарождению трещины. В свою очередь, трещины в стенках труб и трубопроводов приводят к разгерметизации системы в целом, к нарушению её функциональных свойств.

### Выводы

1. Предложена методика расчёта композитных трубопроводов для гидромеханизации работ по улучшению лесосплавных путей. В рамках методики представлена расчётная модель многослойной криволинейной трубы, изготовленной намоткой волокнистого композита. Труба рассматривается как тонкостенная торообразная оболочка с переменными параметрами армирования и толщиной стенки. Для вывода расчётных зависимостей используются теория анизотропных слоистых оболочек и метод конечных элементов.

2. Выполнен расчёт тонкостенной цилиндрической оболочки из ортогонально армированного стеклопластика. Показано, что результаты расчёта МКЭ хорошо согласуются с данными известных аналитического решения и эксперимента.

3. Проведён анализ жёсткости при чистом изгибе серии образцов многослойных криволинейных труб из перекрёстно армированного стеклопластика. Расчётные коэффициенты увеличения гибкости сопоставлены с данными известного эксперимента. Получено удовлетворительное их соответствие друг другу.

4. Рассмотрена зависимость гибкости многослойной криволинейной трубы от внутреннего давления, геометрических и структурных параметров. Показано, что с увеличением внутреннего давления, толщины стенки и угла укладки волокон на экваторе тора гибкость трубы, связанная со сплющиванием поперечного сечения (эффектом Кармана), уменьшается.

5. Выполнен анализ прочности многослойного композитного образца. В зависимости от геометрии, структуры пакета слоёв и схемы армирования дан сопоставительный анализ результатов.

### Список литературы

1. Митрофанов, А. А. Лесосплав: новые технологии, научное и техническое обеспечение / А.А. Митрофанов; АГТУ. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. – 492 с.
2. Ялтанец, И. М. Справочник по гидромеханизации: Теория и практика открытых горных и строительных работ / И. М. Ялтанец. – М.: Изд-во МГТУ, 2011. – 737 с.

3. Куликов, Ю. А. Механика трубопроводов из армированных пластиков / Ю.А. Куликов, Ю.В. Лоскутов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2004. – 156 с.
4. Попов, Б. Г. Расчет многослойных конструкций вариационно-матричными методами / Б.Г. Попов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1993.–294 с.
5. Лоскутов, Ю. В. Упругие характеристики многослойных криволинейных труб из армированного пластика / Ю.А. Куликов, С.В. Шлычков, Е.Б. Темнова // Механика композиционных материалов и конструкций (ИПриМ РАН) – 2006. – Т.12. – № 2. – С. 219-233.
6. Алфутов, Н. А. Расчет многослойных пластин и оболочек из композиционных материалов / Н.А. Алфутов, П.А. Зиновьев, Б.Г. Попов. – М.: Машиностроение, 1984. – 264 с.
7. Елпатьевский, А. Н. Прочность цилиндрических оболочек из армированных материалов / А.Н. Елпатьевский, В.В. Васильев. – М.: Машиностроение, 1972. – 168 с.
8. Тышкевич, В. Н. Экспериментальное исследование прочности и жесткости стеклопластиковых криволинейных труб при чистом изгибе / В.Н. Тышкевич, В.Н. Харитонов // Волгогр. гос. техн. ун-т.-Волгоград, 1998. – 11 с. (Деп. рук. ВИНТИ; № 390-В98).
9. Зиновьев, П. А. Термостабильные структуры многослойных композитов / П.А. Зиновьев // Механика конструкций из композиционных материалов / Под ред. В.В. Васильева и В.Д. Протасова. – М.: Машиностроение, 1992. – С.193-207.
10. Лоскутов, Ю. В. Прочность и жёсткость криволинейных многослойных композитных труб при чистом изгибе / Ю.В. Лоскутов, Ю.А. Куликов // Механика композиционных материалов и конструкций (ИПриМ РАН) – 2008. – Т.14. – № 2. – С. 157-166.
11. Zinoviev, P. A. Strength of multilayered composites under a plane-stress state / P.A. Zinoviev, S.V. Grigoriev, O.V. Lebedeva, L.P. Tairova // Composite Science and Tachnology. – 1998. – Vol.58. – P.1209-1223.
12. Зиновьев, П. А. Предельные возможности многослойных композитных структур/ П.А. Зиновьев, А.А. Смердов// Известия РАН. Механика твёрдого тела. – 1994. – Т.1. – С.7-17.
13. Композиционные материалы: Справочник/ Под ред. В.В.Васильева, Ю.М.Тарнопольского. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.

Статья поступила в редакцию 10.12.11.

Результаты получены при выполнении поисковой научно-исследовательской работы в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, а также гранта РФФИ № 10-08-97017-р\_поволжье\_а.

*Ju. V. Loskutov*

#### COMPOSITE PIPINGS STRUCTURES CALCULATION FOR HYDROMECHANIZATION OF DREDGING WORKS IN FLOATING ROUTES IMPROVEMENT

*A methods of calculating of pipings made of polymer composites for hydromechanization of dredging works in floating routes improvement is offered. On the basis of the linear theory of multilayered anisotropic shells and the finite element method, the research of elastic deformation, stress state and strength of thin-walled curvilinear tubes under pure bending is carried out. The pipe is presented in the form of a thin-walled toroidal shell with variable parameters of reinforcement and wall thickness. The results of calculations are compared with known data and results of experiments. Pipes flexibility dependence on internal pressure, geometrical and structural parameters is investigated. The analysis of strength of laminated composite sample is carried out. A comparative analysis of the results depending on the schemes of reinforcement, the geometry and the structure of sandwich of layers is given.*

**Keywords:** *pipings, polymer composites, floating route, strength, stiffness, FEM.*

---

ЛОСКУТОВ Юрий Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов и прикладной механики МарГТУ, докторант. Область научных интересов – механика конструкций и материалов, механика сплошных сред, водный транспорт леса, методы матмоделирования, САПР. Автор 55 публикаций.

E-mail: loskutovyv@marstu.net

УДК 62-82.003.13

*А. И. Павлов, И. А. Полянин, П. Ю. Лощёнов*

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОПРИВОДА ЛЕСНЫХ МАШИН ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ В ФУНКЦИОНАЛЬНОМ РЕЖИМЕ

*Представлено теоретическое исследование динамических свойств элементов гидропривода лесных машин при диагностировании в функциональном режиме, которое позволяет обосновать возможность определения технического состояния элементов гидропривода лесных машин.*

**Ключевые слова:** математическая модель, теоретические исследования, гидроударное воздействие, податливость, гидравлическое сопротивление, дифференциальные уравнения, гидропривод, величина повышения давления, диагностирование.

**Введение.** Гидроприводы лесных машин являются сложными динамическими системами, подверженными воздействию широкого спектра динамических нагрузок переменного характера и работающими в условиях изменяющихся внешних воздействий, обусловленных разнообразными факторами. При эксплуатации эти нагрузки приводят элементы гидропривода к неисправностям. Для предотвращения этих неисправностей рекомендуется применять техническое диагностирование, с помощью которого определяется их текущее техническое состояние и остаточный ресурс.

В настоящее время получило развитие направление диагностирования гидроприводов как в функциональном режиме, так и в процессе технического обслуживания и ремонта, что позволяет изучить причины потери работоспособности, определить степень удаленности от предельного состояния, установить вид и место возникновения дефектов.

Регулярно проводимое диагностирование способствует своевременному выявлению нарушений в техническом состоянии гидроприводов и их устранению, поэтому тема по обоснованию, разработке методов и средств диагностирования гидроприводов лесных машин является весьма актуальной.

**Цель работы** – теоретическое исследование динамических свойств элементов гидропривода лесных машин при диагностировании в функциональном режиме.

**Решаемые задачи:**

- разработка математической модели гидропривода лесных машин для исследования его динамических свойств в функциональном режиме;
- исследование упругих свойств элементов гидроприводов лесных машин в функциональном режиме с помощью гидроударного воздействия;
- определение диагностического параметра при гидроударном воздействии на элементы гидропривода.

Для построения математической модели гидропривода используется известный унифицированный метод математического описания механизмов при помощи гидромеханических цепей, позволяющий исследовать влияние гидроударного воздействия на элементы гидропривода.

В качестве расчётной примем структурную гидромеханическую схему гидропривода стрелы манипулятора марки ОМТЛ-70-02, который содержит в своей структуре элементы с нелинейными характеристиками, оказывающие существенное влияние на динамические процессы, происходящие в гидроприводе.

При составлении гидромеханической цепи предполагается, что каждый конструктивный элемент гидропривода представляется несколькими элементами цепи. Кроме того, каждый элемент цепи представляет лишь одно физическое явление – гидравлическое сопротивление, сжимаемость, источник расхода, источник давления, трение, инерционность, силу и т.д., при этом каждый элемент цепи описывается только одним членом дифференциального уравнения.

Гидромеханическая цепь гидропривода стрелы манипулятора показана на рис. 1.

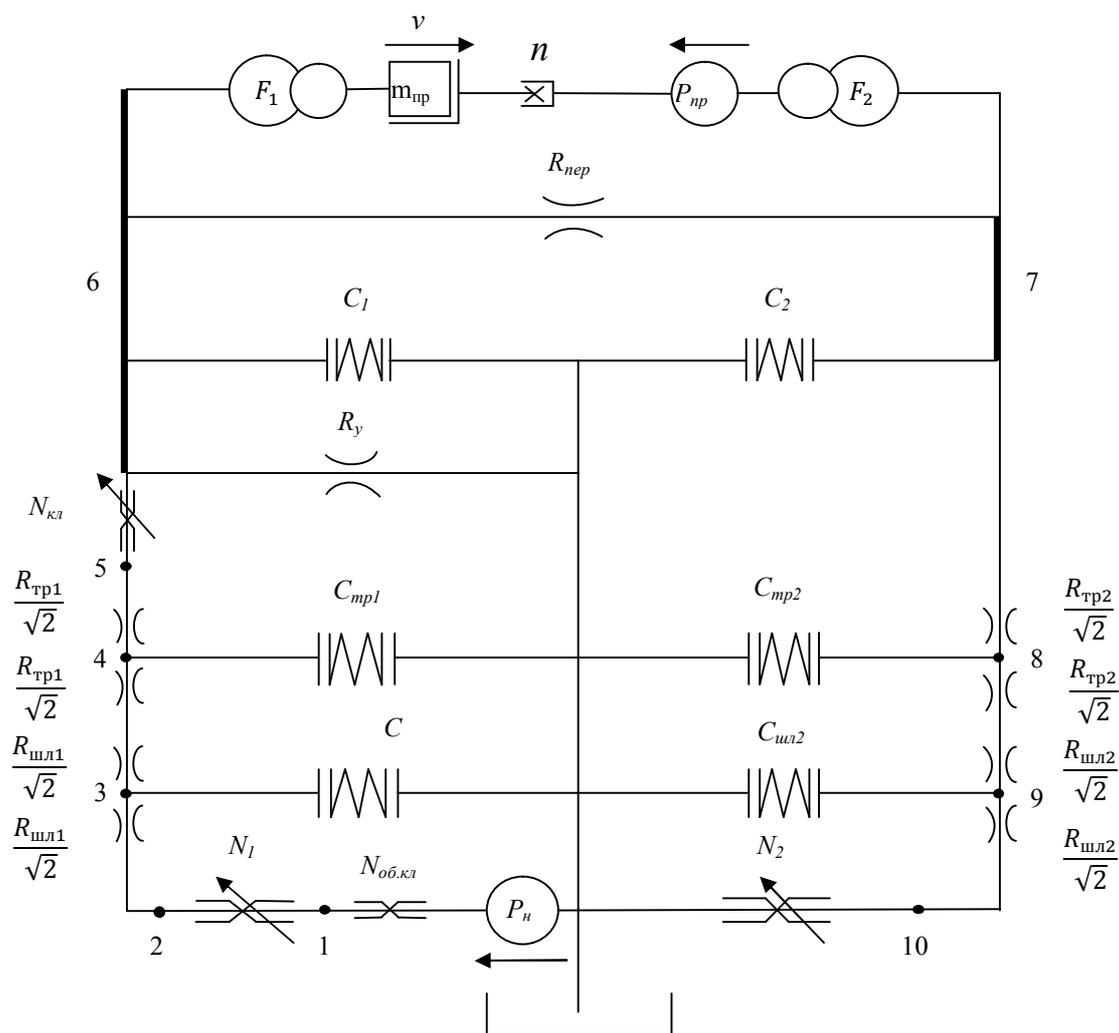


Рис. 1. Гидромеханическая цепь гидропривода стрелы манипулятора марки ОМТЛ-70-02 с запорным клапаном

Влияние параметров состояния элементов гидропривода на диагностический параметр предлагается исследовать в переходном режиме, создавая при этом гидроударные воздействия за счет резкого закрытия и открытия запорного клапана.

При составлении цепи приняты следующие нижеописанные допущения и ограничения:

- 1) гидроцилиндр нагружен силой  $P_{np}$ , направленной в сторону поршневой полости и приведенной к его штоку, которая принимается фиксированной;
- 2) масса  $m_{np}$  груза и манипулятора является сосредоточенной и приведена к штоку гидроцилиндра, которая также принимается фиксированной;
- 3) рукава высокого давления характеризуются гидравлическими сопротивлениями  $R_{шл}$  и объемными деформациями (податливостями)  $C_{шл}$ , причем сопротивления напорной и сливной магистралей приняты равными, а податливости – различными;
- 4) полости гидроцилиндра характеризуются активными площадями  $F_1, F_2$  и податливостями  $C_1, C_2$ ;
- 5) сопротивление трения поршня о гильзу цилиндра выражено через коэффициент нелинейного трения  $n$ ;
- 6) перетечки масла из напорной полости в сливную оцениваются гидравлическими сопротивлениями  $R_{пер}$ , утечки – гидравлическими сопротивлениями –  $R_y$ .
- 7) гидрораспределитель представлен нелинейными гидравлическими сопротивлениями  $N_1$  и  $N_2$ , которые в силу конструктивных особенностей равны  $N_1 = N_2 = N$ ;
- 8) давление  $P_n$  перед гидрораспределителем в исходном состоянии принимается равным номинальному;
- 9) запорный клапан и обратный клапан представлены нелинейными гидравлическими сопротивлениями  $N_{кл}$ ,  $N_{об.кл}$ , соответственно.

Гидромеханические цепи удобно анализировать на основе правила контуров или правила узлов. Так как цепь включает гидроцилиндр с различными активными площадями полостей и нелинейные элементы (золотниковый гидрораспределитель и рукава высокого давления), в этом случае целесообразно для составления системы уравнений воспользоваться правилом узлов.

Правилу узлов соответствуют уравнения

$$\sum_{i=1}^n Q_i = 0, \sum_{i=1}^n v_i = 0, \quad (1)$$

то есть алгебраическая сумма расходов ( $Q_i$ ) либо скоростей ( $v_i$ ), жидкостей, притекающих к узлу и отводимых от узла, равна нулю. Правило узлов для гидравлической части цепи представляет собой форму уравнения расходов, для механической части цепи – условие неразрывности (неразрушения) совместно движущихся элементов конструкции [1].

При анализе методом узлов неизвестными являются разности давлений между выбранным опорным узлом и другими узлами цепи.

Разработанная гидромеханическая цепь содержит одну «длинную» ветвь, которая учитывается как один элемент, и 10 узлов, поэтому для цепи необходимо составить одно уравнение «длинной» ветви и 10 уравнений узлов.

Уравнение «длинной» ветви

$$p_6 \cdot F_1 - m_{np} \frac{dv}{dt} - n \cdot \text{sign}(v) - P_{np} - F_2 \cdot p_7 = 0. \quad (2)$$

Уравнение узла 1

$$\frac{1}{N_{об.кл}} \sqrt{P_n - p_1} - \frac{1}{N_1} \sqrt{p_1 - p_2} = 0. \quad (3)$$

Уравнение узла 2

$$\frac{1}{N_1} \sqrt{p_1 - p_2} - \frac{\sqrt{2}}{R_{ул1}} \sqrt{p_2 - p_3} = 0. \quad (4)$$

Уравнение узла 3

$$\frac{\sqrt{2}}{R_{ул1}} \sqrt{p_2 - p_3} - \sqrt{\frac{2}{R_{ул1}^2 + R_{мп1}^2} (p_3 - p_4)} - C_{ул1} \frac{dp_3}{dt} = 0. \quad (5)$$

Уравнение узла 4

$$\sqrt{\frac{2}{R_{ул1}^2 + R_{мп1}^2} (p_3 - p_4)} - \frac{\sqrt{2}}{R_{мп1}} \sqrt{p_4 - p_5} - C_{мп1} \frac{dp_4}{dt} = 0. \quad (6)$$

Уравнение узла 5

$$\frac{\sqrt{2}}{R_{мп1}} \sqrt{p_4 - p_5} - \frac{1}{N_{кл}} \sqrt{p_5 - p_6} = 0. \quad (7)$$

Уравнение узла 6

$$\frac{1}{N_{кл}} \sqrt{p_5 - p_6} - \frac{1}{R_y} p_6 - \frac{1}{R_{неп}} (p_6 - p_7) - C_1 \frac{dp_6}{dt} - F_1 \cdot v = 0. \quad (8)$$

Уравнение узла 7

$$F_2 \cdot v + \frac{1}{R_{неп}} (p_6 - p_7) - \frac{\sqrt{2}}{R_{мп2}} \sqrt{p_7 - p_8} - C_2 \frac{dp_7}{dt} = 0. \quad (9)$$

Уравнение узла 8

$$\frac{\sqrt{2}}{R_{мп2}} \sqrt{p_7 - p_8} - \sqrt{\frac{2}{R_{мп2}^2 + R_{ул2}^2} (p_8 - p_9)} - C_{мп2} \frac{dp_8}{dt} = 0. \quad (10)$$

Уравнение узла 9

$$\sqrt{\frac{2}{R_{мп2}^2 + R_{ул2}^2} (p_8 - p_9)} - \frac{\sqrt{2}}{R_{ул2}} \sqrt{p_9 - p_{10}} - C_{ул2} \frac{dp_9}{dt} = 0. \quad (11)$$

Уравнение узла 10

$$\frac{\sqrt{2}}{R_{ул2}} \sqrt{p_9 - p_{10}} - \frac{1}{N_2} \sqrt{p_{10}} = 0. \quad (12)$$

При расчётах принимаем, что характер движения масла в трубопроводах ламинарный, а в золотниковых гидрораспределителях, запорном клапане и различных местных сопротивлениях – турбулентный.

Сопротивления трубопроводов и рукавов высокого давления определяются по формуле [2,4]:

$$N_{мп} = 8 \cdot \lambda_{мп} \cdot \rho_{ж} \frac{l_{мп}}{\pi^2 \cdot d_{мп}^5}; \quad N_{ул} = 8 \cdot \lambda_{ул} \cdot \rho_{ж} \frac{l_{ул}}{\pi^2 \cdot d_{ул}^5}, \quad (13)$$

где  $l_{мп}$ ,  $d_{мп}$ ,  $l_{ул}$  и  $d_{ул}$  – длина и внутренний диаметр  $i$ -го трубопровода и РВД, м;  $\lambda_{мп}$  и  $\lambda_{ул}$  – коэффициент Дарси для трубопроводов и рукавов.

Нелинейное гидравлическое сопротивление золотника гидрораспределителя определяется по формуле [3]:

$$\frac{1}{N} = K \cdot b \cdot h; \quad (14)$$

$$K = \mu \sqrt{\frac{2g}{\nu}}, \quad (15)$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода,  $\mu = 0,65 - 0,72$ ;  $b$  – длина щели, м;  $h$  – ширина щели, м;  $\nu$  – кинематическая вязкость, м<sup>2</sup>/с.

Гидравлические сопротивления утечек и перетечек из полостей гидроцилиндра будут определяться как потери давления при истечении масла через кольцевую щель (посадочную или уплотнительную) по формуле [3]:

$$R_y = \frac{12 \cdot \nu \cdot \rho \cdot l}{\pi \cdot D \cdot \delta}, \quad (16)$$

где  $\nu$  – кинематическая вязкость, м<sup>2</sup>/с;  $\rho$  – плотность масла, кг/м<sup>3</sup>;  $l$  – длина уплотнения, м;  $D$  – диаметр уплотнения, м;  $\delta$  – осевой зазор, м.

Площадь поршневой полости гидроцилиндра можно определить по формуле:

$$F_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \quad (17)$$

где  $D$  – диаметр цилиндра, м.

Коэффициент податливости поршневой полости гидроцилиндра, заполненной рабочей жидкостью, определяется по формуле [1]:

$$C_1 = \pi \left( \frac{1 - \chi}{8} \cdot \frac{D_1^3}{E_u \cdot S_u} + \frac{D_1^2 \cdot \chi_1}{4 \cdot E_{жс}} \right), \quad (18)$$

где  $\chi$  – коэффициент Пуассона,  $\chi = 0,35$ ;  $D_1$  – внутренний диаметр поршневой полости гидроцилиндра, м;  $E_u, E_{жс}$  – модули упругости материала стенок и жидкости (для минеральных масел  $E_{жс} = (1,4 \dots 1,9) \cdot 10^9$  Па);  $S_u$  – толщина стенки гильзы гидроцилиндра, м;  $\chi_1$  – перемещение штока гидроцилиндра, м.

Площадь штоковой полости гидроцилиндра можно определить по формуле:

$$F_2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (19)$$

где  $D$  – диаметр цилиндра, м;  $d$  – диаметр штока, м.

Коэффициент податливости штоковой полости гидроцилиндра определяется по формуле [1]:

$$C_2 = \pi \left( \frac{1 - \chi}{8} \cdot \frac{D_1^3}{E_u \cdot S_u} + \frac{D_1^2 \cdot (H_{умт} - \chi_1)}{4 \cdot E_{жс}} \right), \quad (20)$$

где  $\chi$  – коэффициент Пуассона,  $\chi = 0,35$ ;  $D_1$  – внутренний диаметр штоковой полости гидроцилиндра, м;  $E_u, E_{жс}$  – модули упругости материала стенок и жидкости, Па;  $S_u$  – толщина стенки гильзы гидроцилиндра, м;  $\chi_1$  – перемещение штока гидроцилиндра, м;  $H_{умт}$  – ход штока гидроцилиндра, м.

Коэффициенты податливости рукавов высокого давления, заполненных маслом, определяются по формуле [1]:

$$C_{умл} = \frac{\pi \cdot d_{умл}^2 \cdot l_{умл}}{4 \cdot E_{np}}, \quad (21)$$

где  $E_{np}$  – приведенный модуль упругости, учитывающий сжимаемость масла и деформацию рукавов,  $E_{np} = (1 \dots 1,1) \cdot 10^8$  Па.

Влияние параметров состояния элементов гидропривода на диагностический параметр предлагается исследовать в переходном режиме, создавая при этом гидроударные

воздействия за счет резкого закрытия и открытия запорного клапана.

*Гидроударное воздействие* – это кратковременное, но резкое повышение давления в трубопроводе при внезапном торможении двигавшегося по нему потока жидкости в результате мгновенного закрытия и открытия запорного устройства.

Поскольку гидросистема обладает определенной упругостью, то появившийся при гидроударном воздействии избыток расхода в результате сжимаемости рабочей жидкости и деформации стенок трубопровода компенсируется упругостью гидросистемы:

$$Q_n - \frac{1}{N_{об.кл}} \sqrt{p_3} - C_{лин} \frac{dp_3}{dt} - Q_1 = 0. \quad (22)$$

Определение параметров диагностирования при гидроударных воздействиях гидропривода в условиях переходного процесса производится с учетом следующих допущений:

1) участок от узла 3 и до полости  $F_1$  напорной гидролинии представляем источником расхода  $Q_1$ . Расход на сжимаемость масла и деформацию участка от узла 3 до полости  $F_1$  напорной гидролинии определяется по уравнению [1]:

$$Q_1 = C_{инл} \frac{dp_3}{dt}, \quad (23)$$

где  $C_{инл}$  – объемные деформации (податливость) рукавов высокого давления, заполненных маслом, которые определяются по формуле (21);

2) время срабатывания предохранительного клапана при гидроударном воздействии больше времени протекания гидроударного воздействия.

С учетом принятых допущений на рис. 2 приведена упрощенная схема гидромеханической цепи напорной гидролинии гидропривода стрелы манипулятора ОМТЛ-70-02 при гидроударном воздействии. Нумерация узлов сохранена в соответствии с рис. 1.

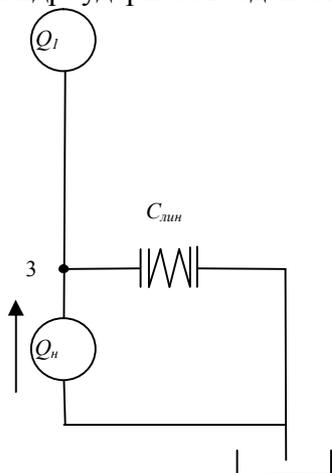


Рис. 2. Гидромеханическая цепь напорной гидролинии гидропривода стрелы манипулятора марки МТЛ-70-02 при гидроударном воздействии

Величина повышения давления при гидроударном воздействии определяется по формуле Жуковского для полного прямого гидравлического удара, так как параметры гидроударного воздействия идентичны параметрам полного прямого гидравлического удара:

$$\Delta p = \rho v_0 C_v, \quad (24)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $v_0$  – скорость движения жидкости в гидроприводе до гидроудара, которая определяется из выражения, м/с;  $C_v$  – скорость распространения ударной волны, м/с.

Скорость распространения ударной волны определяется по формуле [3]:

$$C_v = \frac{\sqrt{\frac{E_{ж}}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{D}{\delta} \cdot \frac{E_{ж}}{E_{мп}}}}, \quad (25)$$

где  $\sqrt{\frac{E_{ж}}{\rho}}$  – скорость звука в жидкой среде, м/с;  $D$  – диаметр трубопровода, м;  $\delta$  – толщина стенки трубопровода, м;  $E_{ж}$  – модуль упругости жидкости, Па;  $E_{мп}$  – модуль упругости трубопровода, Па.

Величину повышения давления жидкости с затухающими колебаниями, возникающую при гидроударном воздействии в напорной гидролинии подъема стрелы манипулятора, построим в программе MathCAD по формуле:

$$x(t) = p_0 + \Delta p \cdot e^{-E_{\text{лин}}(t)} \cdot \cos \omega(t), \quad (26)$$

где  $x$  – динамическая составляющая знакопеременной нагрузки;  $p_0$  – давление жидкости в напорной гидролинии при подъеме стрелы, Н/м<sup>2</sup>;  $\Delta p$  – величина повышения давления при гидроударном воздействии, Н/м<sup>2</sup>;  $E_{\text{лин}}$  – модуль упругости материала напорной гидролинии подъема стрелы, Па;  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  – круговая частота колебаний, с<sup>-1</sup>;  $T$  – время одного цикла, включающего повышение и понижение давления (фаза гидроударного воздействия), с.

Считая скорость ударной волны при повышении и понижении давления одинаковой, определим фазу гидроударного воздействия [5]:

$$T = \frac{2l}{C_v}, \quad (27)$$

где  $C_v$  – скорость распространения ударной волны, м/с;  $l$  – длина трубопровода, при которой возможно гидроударное воздействие, м.

Длина трубопровода, при которой возможно гидроударное воздействие, определяется по формуле:

$$l = \frac{C_v \cdot t_{\text{кл}}}{2}, \quad (28)$$

где  $t_{\text{кл}}$  – время закрытия запорного клапана, с.

При диагностировании напорной гидролинии с помощью гидроударного воздействия в условиях переходного процесса для наиболее точного определения результатов необходимо учитывать следующие требования:

- подъем стрелы при каждом диагностировании необходимо осуществлять при полном вылете манипулятора без груза;
- подъем стрелы необходимо осуществлять при фиксированном угле между стрелой и рукоятью манипулятора;

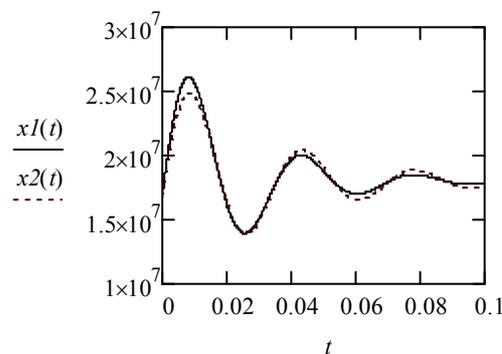


Рис. 3. Зависимости давления от времени при гидроударном воздействии в напорных гидролиниях в момент подъема стрелы манипулятора без нагрузки:  $t$  – время, с;  $x1(t)$  – давление в гидролинии, не имеющей наработки, Па;  $x2(t)$  – давление в гидролинии, имеющей предельную наработку, Па

- гидроударное воздействие необходимо осуществлять до момента пока гидроцилиндр стрелы манипулятора не достигнет своего среднего положения от начала подъема.

Полученные в программе MathCAD зависимости давления от времени при гидроударных воздействиях в напорных гидролиниях, не имеющей наработки и имеющей предельную наработку в момент подъема стрелы манипулятора без нагрузки, показаны на рис. 3.

В процессе динамического нагружения гидролинии происходит ее старение, при этом на рабочих поверхностях образуются микротрещины, нарушаются межмолекулярные связи в резине, что приводит к уменьшению модуля упругости гидролинии до предельного значения, при котором она выходит из строя.

Анализ зависимостей показывает, что изменение упругих свойств элементов гидропривода оказывает значительное влияние на колебательные процессы в гидроприводе. Уменьшение коэффициента податливости гидролинии, то есть потеря упругих свойств материала, приводит к уменьшению величины гидроудара и увеличению длительности колебательного процесса при появлении и развитии неисправностей (трещин, микроразрывов и т.д.) в напорной гидролинии, поэтому в качестве диагностических параметров прием величину повышения давления, возникающую при гидроударном воздействии.

#### **Выводы**

1. Разработанная математическая модель гидропривода лесных машин и ее анализ позволили обосновать возможность определения технического состояния элементов гидропривода лесных машин в функциональном режиме.

2. Изменение упругих свойств элементов гидропривода оказывает значительное влияние на колебательные процессы в гидроприводе. Уменьшение коэффициента податливости гидролинии, то есть потеря упругих свойств материала приводит к уменьшению величины гидроудара и увеличению длительности колебательного процесса при появлении и развитии неисправностей в напорной гидролинии.

3. Увеличение гидравлического сопротивления элементов гидропривода за счет появления микротрещин, микроразрывов, увеличения шероховатости внутренних рабочих полостей также приводит к уменьшению величины гидроудара.

Таким образом, выбранный нами диагностический параметр является чувствительным и достаточным при проверке работоспособности гидролинии.

#### *Список литературы*

1. *Хандрос, А.Х.* Динамика и моделирование гидроприводов станков /А.Х. Хандрос, Е.Г. Молчановский. – М.: Машиностроение, 1969. – 156 с.
2. *Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам / Я.М. Вильнер, Я.Т. Ковалев, Б.Б. Некрасов, Ю.А. Беленков, Ю.Л. Кирилловский.* Под. общ. ред. Б.Б. Некрасова. – Мн.: Выш. шк., 1985. – 382 с.: ил.
3. *Павлов, А.И.* Повышение надежности гидроприводов лесных машин: дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.01: защищена 28.12.04: утверждена 5.05.2005/Павлов Александр Иванович. – Йошкар-Ола, 2004. – 397 с. – Библиогр.: с 292 - 296.
4. *Лебедев, Н.И.* Гидропривод машин в лесозаготовительной промышленности / Н.И.Лебедев. – М.: Лесная промышленность, 1978. –304 с.
5. *Гамынин, Н.С.* Гидравлический привод систем управления /Н.С.Гамынин. – М.: Машиностроение, 1972. – 376 с.

Статья поступила в редакцию 01.11.11.

*A. I. Pavlov, I. A. Polyinin, P. Yu. Loshchenov*

**THEORETICAL RESEARCH OF DYNAMIC PROPERTIES OF ELEMENTS  
OF HYDRAULIC ACTUATOR OF WOOD CARS WHEN DIAGNOSING  
AT THE FUNCTIONAL MODE**

*A theoretical research of dynamic properties of the elements of a hydraulic actuator of wood cars when diagnosing in a functional mode is presented. The diagnosis allows to prove the possibility of definition of a technical condition of the elements of a hydraulic actuator of wood cars.*

**Key words:** *mathematical model, theoretical research, hydroshock exposure, pliability, hydraulic resistance, differential equations, hydraulic actuator, pressure boost size, diagnosis.*

---

*ПАВЛОВ Александр Иванович* – доктор технических наук, профессор, проректор по аккредитации, лицензированию и внешним связям МарГТУ. Область научных интересов – повышение надежности гидроприводов лесных машин. Автор более 50 публикаций.  
E-mail: pavlov@marstu.net

*ПОЛЯНИН Игорь Александрович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой транспортно-технологических машин МарГТУ. Область научных интересов – гидравлика и гидропривод, лесотранспортные машины. Автор более 60 публикаций.  
E-mail: polyinin\_ia@mail.ru

*ЛОЩЁНОВ Павел Юрьевич* – аспирант кафедры транспортно-технологических машин МарГТУ. Область научных интересов – повышение надежности гидроприводов лесных машин. Автор четырех публикаций.  
E-mail: Loschenov.Pavel@yandex.ru

УДК 691.322

*М. Г. Салихов, В. В. Савельев,  
Е. В. Веюков, О. Г. Ермакова*

## **ИЗУЧЕНИЕ ДЕФОРМАТИВНЫХ И ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ И СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ЦЕМЕНТОБЕТОНОВ С ДОБАВКАМИ АСФАЛЬТОВОГО ГРАНУЛЯТА**

*Исследованы прочностные свойства цементобетонов с добавками из асфальтогранулята. Выявлены закономерности в изменении прочности образцов в зависимости от состава смесей.*

***Ключевые слова:** цементобетон, асфальтогранулят, полужёсткие бетоны, добавки.*

**Введение.** В дорожной отрасли происходит постоянная разработка технологических приёмов конструкционных материалов, снижающих себестоимость строительства дорожных одежд, решаются вопросы совершенствования методик исследования различных свойств дорожно-строительных материалов с целью поиска путей повышения их качества и долговечности в процессе эксплуатации в дорожных конструкциях. Традиционно применяемые в покрытиях автомобильных дорог асфальтобетоны из-за резко возросшей в последние десятилетия интенсивности движения перестали удовлетворять требованиям долговечности. Например, максимальное сопротивление сдвигу асфальтобетона при 50 °С составляет не более 0,2–0,4 МПа, в то же время нагрузка современных транспортных средств на участках торможения достигает 2,0 МПа. Циклическая долговечность асфальтобетонов составляет  $10^6$  циклов, что соответствует всего 2–3 годам эксплуатации. Требованию долговечности отвечают дорожные одежды с жёсткими покрытиями, например, цементобетонные. Возможность использования цементобетонных покрытий обеспечивается за счёт высоких дорожно-эксплуатационных характеристик: хорошего сцепления колёс автомобиля с поверхностью покрытия, надёжности, высокой прочности, водонепроницаемости, долговечности покрытия и т.д.

В России срок службы цементобетонных покрытий до капитального ремонта составляет не менее 25 лет [1], что выше значения данного показателя для асфальтобетонных покрытий на 10–15 лет [2]. По сравнению с асфальтобетоном, цементобетоны обладают рядом преимуществ: у них более высокие значения показателей прочности, морозостойкости, меньшая зависимость прочностных свойств от изменения положительных температур и т.д. [3, 4]. В то же время им свойственны определённые недостатки: большая себестоимость из-за необходимости устройства покрытия большей толщины (20–24 см [1]), высокая жёсткость. Последнее требует устройства температурных швов, что ухудшает комфортность проезда пассажиров. Цементобетоны плохо сопротивляются действию противогололёдных хлористых солей, используемых на дорогах, и имеют низкую сопротивляемость изгибающим и растягивающим нагрузкам, большую усадку при схватывании и затвердевании. При этом цементобетонные покрытия обладают сравнительно низкой ремонтпригодностью.

Таким образом, традиционно применяемые в покрытиях дорожных одежд автомобильных дорог материалы, такие как асфальтобетоны и цементобетоны, в сложных дорожно-климатических условиях не в полной мере отвечают предъявляемым к ним требованиям. Выдвигается гипотеза о том, что введение в структуру жёсткого цементобетона позволит снизить его жёсткость, повысить его трещиностойкость и долговечность покрытия. В данной работе предложен и исследован способ снижения жёсткости цементобетонов путём введения в структуру битумосодержащих отходов продукта холодного фрезерования старого асфальтобетонного покрытия.

**Целью** работы является изучение влияния добавок асфальтогранулятов (АГ) холодного фрезерования на показатели прочности и жёсткости цементобетонов, в качестве которых приняты пределы прочности на сжатие, растяжение при изгибе и модуль упругости материала.

**Задачей** исследования является экспериментальное установление зависимостей прочности цементобетонов различного срока твердения при сжатии, растяжении при изгибе и модуля упругости от количества добавок АГ различных фракций.

**Методика проведения эксперимента.** Для экспериментального изучения свойств цементобетона были изготовлены партии образцов в виде кубов размерами 10x10x10 см и балок размером 10x10x40 см с добавками АГ 0, 10, 20, 30 % по массе. Для изучения влияния крупности зёрен АГ на структурообразование цементобетонов часть опытов проведена при изменении фракционного состава добавок в пределах: 0–10, 0–20, 5–20 мм. Образцы цементобетона испытывались после твердения во влажных условиях в течение 7, 10, 15, 20 суток. Водоцементное отношение (ВЦ) во всех образцах принято равным 0,45.

Физико-механические свойства компонентов цементобетонов представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Физико-механические свойства компонентов цементобетонов

Наименование материала, поставщик	Показатели
1. Щебень М1200 по ГОСТ 8267-93 (ООО «Южноуральск», г. Сатка Оренбургской области)	1. Фракция 5 ... 20 мм 2. Плотность $\rho = 2,85 \text{ г/см}^3$ 3. Насыпная плотность $\delta_H = 1,48 \text{ г/см}^3$ 4. Пустотность $v_{\text{пуст}} = 0,48$ 5. Средняя плотность $\delta_{\text{ср}} = 1480 \text{ кг/см}^3$ 6. Марка по морозостойкости $F = 300$ 7. Содержание пылевидных и глинистых частиц $Q_{\text{п, гл}} = 0,10 \%$
2. Песок природный по ГОСТ 8736-93 (Студёнковский песчаный карьер Республики Марий Эл)	1. Модуль крупности $M_K = 2,10$ 2. Плотность $\rho = 2,63 \text{ г/см}^3$ 3. Насыпная плотность $\delta_H = 1440 \text{ кг/см}^3$ 4. Содержание пылевидных и глинистых частиц $P_{\text{п, гл}} = 2,00 \%$
3. Портландцемент по ГОСТ 10178-85 марка ПЦ-500 (ОАО «Вольскцемент»)	1. Активность $A = 49,50 \text{ МПа}$ 2. Плотность $\rho = 3,1 \text{ г/см}^3$ 3. Насыпная плотность $\delta_H = 1250 \text{ кг/см}^3$
4. Асфальтогранулят холодного фрезерования (с Ленинского проспекта г. Йошкар-Олы и а/д Йошкар-Ола – Зеленодольск на участке обхода п. Куяр)	Грансостав (содержание в % по массе) 0 – 40 мм (100); 5 – 40 (46,0); 3 – 5 (10,5); 2,5 – 3,0 (3,7); 1,25 – 2,5 (5,3); 0,63 – 1,25 (16,4); 0,28 – 0,63 (10,8); 0,14 – 0,28 (1,9); 0,08 – 0,14 (0,2); менее 0,08 (0,2).

Образцы цементобетона готовились из смеси компонентов с расходом на одну форму объёмом 4100 см<sup>3</sup> (литра): щебня – 5,775 кг; песка – 3,230 кг; портландцемента – 1,637 кг; воды – 0,739 кг; асфальтогранулята – 0; 0,578; 1,185; 1,733 кг; химической добавки С<sub>3</sub> – 0,0081 кг.

Изготовление и испытание образцов в виде балок на растяжение при изгибе и модуль упругости осуществлялось по стандартным методикам ГОСТ 10180 –90 [5] и ВСН 46 – 83 [3]; кубических образцов на сжатие – по методикам ГОСТ 10180 –90 [5]. Достоверность опытов обеспечивается проведением необходимого количества приложений на одну точку с обеспечением надёжности. После заполнения смесь в форме уплотнялась на лабораторной виброплощадке и затем подвергалась твердению при комнатных температурах в камере, где в течение расчётного времени постоянно поддерживался насыщенный пар.

При испытаниях на растяжение при изгибе и установлении модуля упругости нагружение до полного разрушения выполняли ступенчато с шагом 100 Па с фиксацией полной и упругой деформаций (прогибов) при помощи гидравлического пресса.

Значения пределов прочности образцов при изгибе  $R_{изг}$  и при сжатии  $R_{сж}$  рассчитывались по формулам (1) и (2):

$$R_{изг} = 0,1 \cdot K_M \cdot \frac{P_P \cdot \ell}{a \cdot b^2} \cdot K_W, \text{ МПа}, \quad (1)$$

где  $P_P$  – разрушающая нагрузка при изгибе, кгс<sup>\*</sup>;  $\ell$  – расстояние между опорами балки, см;  $a$  и  $b$  – размеры поперечного сечения образцов, см;  $K_M$  – масштабный коэффициент,  $K_M = 1,0$ ;  $K_W$  – поправочный коэффициент, учитывающий влажность.

$$R_{сж} = 0,1 \cdot \frac{P}{F} \cdot K_W, \text{ МПа}, \quad (2)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка при сжатии, кгс;  $F$  – площадь действия сжимающей нагрузки, см<sup>2</sup>.

Значения модуля упругости  $E$  рассчитывались по формуле:

$$E = \frac{K_\ell \cdot K_t \cdot P_I \cdot \ell^3}{48 \cdot f \cdot J}, \text{ МПа}, \quad (3)$$

где  $P_I = 0,5 P_P$ , нагрузка при изгибе, кгс;  $K_\ell$ ,  $K_t$  – поправки, зависящие от соотношения «длина измерительного устройства – расчётный пролёт балки»,  $K_\ell = 1,0$ ;  $K_t = 1,0$ ;  $f$  – упругий прогиб балки, мм;  $J$  – момент инерции сечения образца.

Момент инерции рассчитывался по формуле:

$$J = \frac{b \cdot a^3}{12}. \quad (4)$$

**Результаты экспериментов и их анализ.** Результаты экспериментов по изучению пределов прочности цементобетонных образцов 28-суточного твердения при изменении количества добавок АГ от 0 до 30 % по массе представлены в табл. 2.

Изменение значений пределов прочности образцов цементобетона на растяжение при изгибе, при сжатии и модуля упругости в различные сроки твердения показано в табл. 3.

Из полученных экспериментальных данных, приведённых в табл. 2 и 3, видно, что по мере добавления в структуру цементобетона АГ холодного фрезерования значения прочностных показателей и модуля упругости образцов цементобетонных снижаются

\*Введение данной размерности в формулах (1)–(3) приведено из-за тарировки испытательного пресса в кгс.

соответственно пропорционально массовой доле АГ холодного фрезерования. При этом, во-первых, скорость снижения значений модуля упругости в начальный период значительно интенсивнее, чем прочности при сжатии и изгибе; во-вторых, чем меньше размеры вводимых добавок, тем больший эффект снижения конечной прочности при сжатии образцов цементобетона. Последнее говорит о соответственном снижении модуля упругости. Также можно заметить, что добавление до 30 % АГ не влияет на характер набора прочности цементобетона во времени.

Т а б л и ц а 2

**Пределы прочности цементобетонных при изменении количества добавок АГ**

Параметры	Q <sub>АГ</sub> , % мас.				
	0	10	20	30	
Крупность, мм	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 – 10	5 – 20
R <sub>изг</sub> , МПа	3,23	3,11	2,62	2,31	–
R <sub>сж</sub> , МПа	46,00	42,40	35,50	25,80	26,20
E · 10 <sup>4</sup> , МПа	1,688	0,368	0,211	–	–

Т а б л и ц а 3

**Пределы прочности компонентов цементобетонных при изменении добавок АГ**

Содержание асфальтогранулятов Q <sub>АГ</sub> , % массовых (фракция АГ, мм)	Продолжительность твердения цементобетона, сутки			
	Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа		Модуль упругости E · 10 <sup>4</sup> , МПа	
	0	30 (0 – 10)	0	30 (0 – 10)
7	1,60	1,56	0,58	0,37
10	1,96	1,76	0,82	0,52
15	2,31	2,07	1,08	0,75
23	2,37	2,19	1,34	1,23
30	3,23	3,11	1,60	1,38

В процессе твердения цементобетонной смеси после затворения водой начинаются химические реакции: в первой стадии алит взаимодействует с водой с образованием гидросиликатов кальция ( $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$ ) и гидроксида кальция ( $3\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), далее идут реакции гидратации трёхкальциевого алюмината с образованием на поверхностях негидратированных частиц рыхлых метастабильных гидратов. Часть трёхкальциевого алюмината реагирует с водой быстро, образуя более устойчивый шестиводный гидроалюминат  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Алюминат кальция в среде насыщенного раствора  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  вступает в реакцию с природным гипсом ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), образуя гидросульфаталюминат кальция или эттрингит. Далее процессы гидратации продолжаются до образования более устойчивых структур [6].

Анализ результатов экспериментов показывает, что присутствие битумосодержащих дисперсных частиц не может приостановить гидратационные

процессы, хотя их и замедляет. Это, возможно, происходит из-за поверхностно-активных углеводородных составляющих гранулята на межфазных поверхностях дисперсных частиц, образующихся в процессе гидратации минералов. В завершающей стадии гидратации (твердения) между продуктами гидратации, частью гидросиликата кальция (т.е. цементного камня) и частью непрореагировавших зёрен клинкера и в гелевых порах цементного камня оказываются полусвязанные смолистые части битума, которые под действием механических воздействий будут работать как эластичное тело. Кроме того, при этом свою роль могут сыграть процессы изменения свободной поверхностной энергии структурообразующих элементов. Такие процессы, с одной стороны, должны привести к уменьшению жёсткости, с другой стороны – к повышению водостойкости и морозостойкости цементобетона. Для подтверждения или опровержения этой гипотезы в дальнейшем потребуется провести дополнительные эксперименты по изучению свойств и микроструктуры цементобетонных смесей с добавками асфальтогранулята.

### **Выводы**

1. Установлено, что введением в цементобетонные смеси асфальтогранулятов холодного фрезерования в пределах до 30 % по массе можно регулировать показатели жёсткости и прочности цементобетонных смесей. Этот способ позволяет повысить морозостойкость, водостойкость, долговечность цементобетонных смесей как конструктивного материала для покрытий, бетонных и железобетонных изделий для автомобильных дорог.

2. Выдвинута гипотеза структурообразования цементобетонных смесей в присутствии дисперсных битуминированных частиц – асфальтогранулятов холодного фрезерования.

### *Список литературы*

1. Методические рекомендации по проектированию жёстких дорожных одежд. Введ. 2003-12-03. – М.: Издательство стандартов, 2004. – 88 с.
2. ОДН 218.046-2001. Проектирование нежёстких дорожных одежд. – Введ. 2001-01-01. – М.: Информавтор, 2001. – 106 с.
3. Носов, В.П. Цементобетон в дорожном строительстве. Состояние. Проблемы. Перспективы: Тезисы докладов международного семинара «Перспективы и эффективность применения цементобетона в дорожном строительстве» / В. П. Носов. – М.: МАДИ, 2002. – С. 5 - 9.
4. Богуславский, А.М. Цементобетон – материал для дорожных и аэродромных покрытий / А.М. Богуславский, В.В. Доргин // Автомобильные дороги. – 1985. – № 14. – С. 14 – 16.
5. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – Введ. 1991-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 44 с.
6. Горчаков, Г.И. Строительные материалы. Учеб. для студентов вузов / Г.И. Горчаков. – М.: Высшая школа, 1981. – 412 с., ил.

Статья поступила в редакцию 30.09.11.

*M. G. Salikhov, V. V. Savelyev,  
E. V. Veukov, O. G. Ermakova*

### **RESEARCH OF STRUCTURE FORMATION AND STRESS-STRAIN PROPERTIES OF CEMENT CONCRETE WITH ADDITIVES FROM GRANULAR ASPHALT**

*Properties of cement concrete with additives of granular asphalt are researched. The regularities concerning changes in the strength of the samples depending on composition of the mixtures are revealed.*

**Key words:** *cement concrete, granular asphalt, semirigid concretes, concrete admixture.*

*САЛИХОВ Мухаммет Габдулхаевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобильных дорог МарГТУ. Область научных интересов – физико-химические процессы и экологические аспекты производства и применения дорожно-строительных материалов. Автор 170 публикаций, 9 патентов и авторских свидетельств СССР и РФ на изобретения.

E-mail: SalihovMG@marstu.net

*САВЕЛЬЕВ Валерий Владимирович* – доктор технических наук, профессор кафедры строительных конструкций и оснований МарГТУ. Область научных интересов – вопросы обоснования оптимальных параметров бетонных и железобетонных плит лесовозных автомобильных дорог в системе автоматизированного проектирования. Автор 90 публикаций.

E-mail: Saveliev44@mail.ru.

*ВЕЮКОВ Евгений Валерианович* – аспирант кафедры автомобильных дорог МарГТУ. Область научных интересов – разработка и исследование антигололедных щебеночно-мастичных асфальтобетонов для покрытий автомобильных дорог. Автор пяти публикаций.

E-mail: VeukovEV@marstu.net

*ЕРМАКОВА Ольга Геннадьевна* – аспирант кафедры автомобильных дорог МарГТУ. Область научных интересов – разработка способов и технологий получения, производства и применения полужёстких покрытий с использованием местных материалов.

E-mail: kad@marstu.net

УДК 630\*31

*Ю. А. Ширнин, И. А. Полянин,  
А. Ю. Ширнин, А. Ю. Витренко*

## ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ЛЕСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ НЕФТЕГАЗОТРУБОПРОВОДОВ

*Изложена технология раз рубки лесных территорий нефтегазотрубопроводов комплектом, включающим валочно-пакетирующую, сучкорезно-раскряжевочную машины и самопогружающийся автопоезд, обеспечивающую экономию энергозатрат и выполнение работ на переувлажненных территориях.*

*Ключевые слова:* трассы нефтегазотрубопроводов, технология лесозаготовок, вдольтрассовая дорога, лента леса.

**Введение.** Нефтегазовая промышленность и лесозаготовки относятся к важнейшим факторам, влияющим на экологическое состояние лесов. Общая протяженность магистральных трубопроводов в России составляет более 231 тыс. км, из которых магистральные газопроводы – 161,1 тыс. км, магистральные нефтепроводы – 49 тыс. км. Значительная часть трубопроводов проходит по переувлажненным и заболоченным территориям Западной Сибири.

В настоящее время трассы нефтегазовых трубопроводов (НГТП) на лесных территориях раз рубаются способами и техническими средствами, широко используемыми на лесозаготовках. Известные способы осуществляются со значительными энергозатратами и не учитывают условия прокладки трасс нефтегазотрубопроводов. Вместе с тем трассы под НГТП характеризуются незначительной шириной и большой длиной раз рубаемых просек. В этих условиях применение традиционных технологий лесозаготовок не эффективно [1].

Для вывозки заготовленной древесины и дальнейшей выкопки траншей под трубопроводы необходима вдольтрассовая дорога, поэтому целесообразно одновременно с раз рубкой трассы осуществлять ее обустройство. Имеются исследования по устройству лесовозных дорог за счет обрезаемых сучьев и вершин [2]. Однако работы выполняются со значительным насыщением техники на единицу площади лесосеки.

В связи с вышеизложенным обоснование технологии разработки лесных территорий нефтегазотрубопроводов является актуальной задачей.

**Цель** исследования – обоснование технологии разработки нефтегазотрубопроводов на переувлажненных лесных территориях.

**Объектом** исследований являются лесные территории НГТП. **Предмет** исследований – технологии заготовки и вывозки древесины, обустройств вдольтрассовой дороги.

Согласно СНиП [3–5], ширина раз рубаемой трассы и ширина вдольтрассовой дороги зависит от типа отводимых земель, сроков пользования, диаметров трубопровода (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

## Ширина полос земель для подземных трубопроводов и дорог, м

Трубопроводы и дороги	Ширина полос земель для подземных трубопроводов и дорог		
	Отводимых во временное краткосрочное пользование на период строительства		Отводимых во временное долгосрочное пользование на период эксплуатации скважин
	На землях, где не производится снятие и восстановление плодородного слоя	На землях, где должно производиться снятие и восстановление плодородного слоя	
1. Нефтепроводы и газопроводы с диаметром до 150 мм (при глубине заложения до низа трубы 1,6 м)	17	24	-
2. Нефтепроводы и газопроводы с диаметром более 150 до 500 мм (при глубине заложения до низа трубы 1,6 м)	23	32	-
3. Водопроводы, трубопроводы агрессивных вод и канализации, глинопроводы диаметром до 500 мм (при глубине заложения 2,2 м до верха трубы)	27	36	-
4. Дороги для подъезда к скважинам: 1) на землях, не покрытых лесом; 2) на землях, покрытых лесом	10	10	6
	6	6	6
5. Временные дороги для перемещения вышки буровой установки: 1) на прямых участках трассы или поперечном уклоне местности до 6°; 2) на кривых участках трассы или поперечном уклоне местности до 6°	20	20	-
	50	50	-

Минимальное расстояние от бровки (откоса) траншеи до ближайшей гусеницы трубоукладчика следует определять в соответствии с расчетом, исходя из физико-механических свойств грунта и удельного давления от гусеницы.

Полоса леса под НГТП разрабатывается одной или двумя лентами в зависимости от ширины трассы и технологических параметров лесозаготовительной техники.

Расчистка строительной полосы от леса в летнее время производится специализированной бригадой, которая выполняет взаимосвязанные, но технологически разнородные единичные виды работ, охватывающие весь производственный процесс.

При выполнении работ по расчистке строительной полосы от леса рекомендуется руководствоваться данными по ориентировочным объемам работ, соответствующим лесу средней крупности (средний объем хлыста  $0,55 \text{ м}^3$ , пня –  $0,3 \text{ м}^3$ ), приведенным в табл. 2 на 1 км полосы.

В данном случае для разубки трасс под НГТП рассматривается система машин, включающая в себя валочно-пакетирующую машину (ВПМ) типа ЛП-19, сучкорезно-раскряжевочную машину (СРМ) типа Valmet 940 и самопогружающийся автопоезд. Valmet 940 представляет собой колесное шасси с манипулятором, на котором установлена сучкорезно-раскряжевочная головка.

Т а б л и ц а 2

## Объемы работ, соответствующие категориям леса

Характеристика леса	Среднее количество деревьев при ширине строительной полосы, м				
	20	23	28	30	32
Густой	1040	1196	1456	1560	1820
Средней густоты	68	782	952	1020	1190
Редкий	320	368	448	480	500
	Объем древесины (при той же ширине строительной полосы, м), м <sup>3</sup>				
Густой	572	658	800	858	1001
Средней густоты	374	430	524	561	654
Редкий	176	202	246	264	308
	Объем пней (при той же ширине строительной полосы, м), м <sup>3</sup>				
Густой	312	359	437	480	546
Средней густоты	204	235	285	30	357
Редкий	96	110	134	144	168

Для НГТП шириной  $B = 24; 32; 36$  м трассу следует разрубать двумя лентами.

При разработке ленты № 1 (рис. 1) ВПМ 1 движется по стрелке, укладывая после валки дерева в пачки 2 под углом к стене леса. Длина лент № 1 и № 2 будет зависеть от принятой технологии. Она может быть равна, например, длине, при которой объем сортиментов, получаемых после разработки, будет равен нагрузке на рейс самопогружающегося автопоезда. После обработки ленты № 1 ВПМ 1 переходит на ленту № 2 (рис. 1), причем при ее обработке деревья укладываются в пачки 2 на максимальном вылете манипулятора в сторону ленты №1.

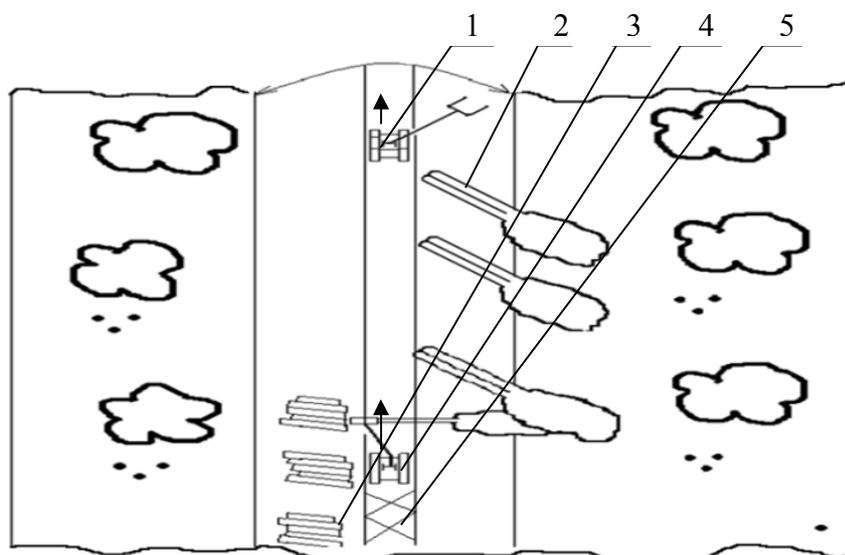


Рис. 1. Схема разработки ленты № 1:

1 – ВПМ; 2 – пачка поваленных деревьев; 3 – кучи сортиментов; 4 – СРМ; 5 – сучья

Следом за ВПМ движется СРМ 4, которая захватывает деревья с одной рабочей позиции и обрабатывает их, при этом очищенные сучья укладываются в полосу движения машин 5, а сортименты – в кучи 3.

Так продолжается до полной обработки ленты № 1. Затем СРМ разворачивается и, двигаясь в обратном направлении по той же полосе, поштучно обрабатывает деревья с

ленты № 2. Для этого деревья из пачки 2 поштучно захватываются и перемещаются в положение (рис. 2), при котором в процессе обработки сучья укладываются на полосу движения 5, а сортименты в кучи 3.

После обработки двух полос ВПМ и СРМ начинают разрабатывать следующие две ленты.

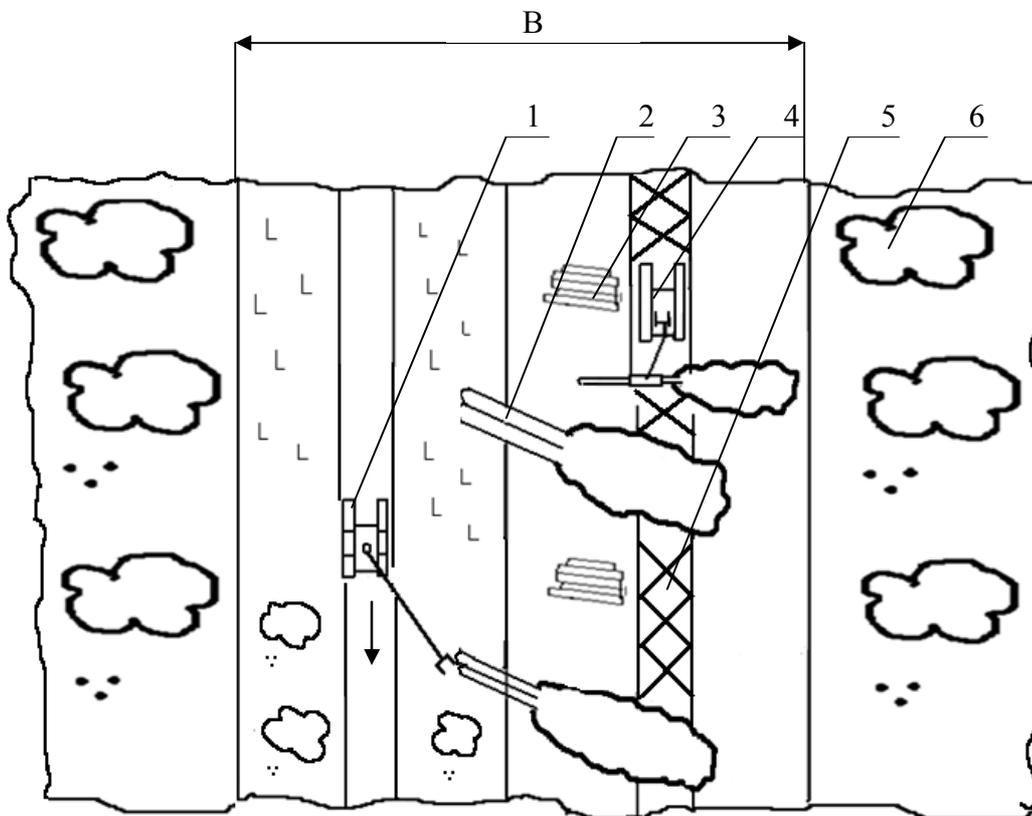


Рис. 2. Схема разработки ленты № 2:

1 – ВПМ; 2 – пачка поваленных деревьев; 3 – кучи сортиментов; 4 – СРМ; 5 – сучья; 6 – растущий лес

В это время самопогружающийся автопоезд (САП), например, задним ходом заезжает по полосе уложенных сучьев в конец обработанных лент и в процессе обратного движения на рабочих позициях осуществляет погрузку сортиментов (рис. 3). Пройдя всю длину САП, полностью загружается и далее осуществляет вывозку древесины по назначению.

Для более узких трасс рубку можно осуществлять при валке леса бензиномоторной пилой и обрезке сучьев СРМ. При этом сучья по длине трасс должны укладываться на территорию будущей вдольтрассовой дороги. С этой целью валка деревьев начинается с ближнего (от конечного пункта вывозки древесины) конца вершиной по направлению вывозки.

Если учесть, что вдольтрассовая дорога сдвинута от центра (по центру располагается НГТП), например, вправо, то деревья слева и справа от нее валятся под небольшим углом от оси дороги для обеспечения проезда СРМ. Причем эти деревья должны быть в пределах длины вылета манипулятора СРМ. Деревья, располагающиеся за пределами досягаемости манипулятора, валятся под углом к оси трассовой дороги. Это обеспечит обработку всех деревьев СРМ с укладкой сучьев на полосу движения машины, а сортиментов – слева и справа от нее. Погрузка и вывозка сортиментов осуществляется по схеме (рис. 3).

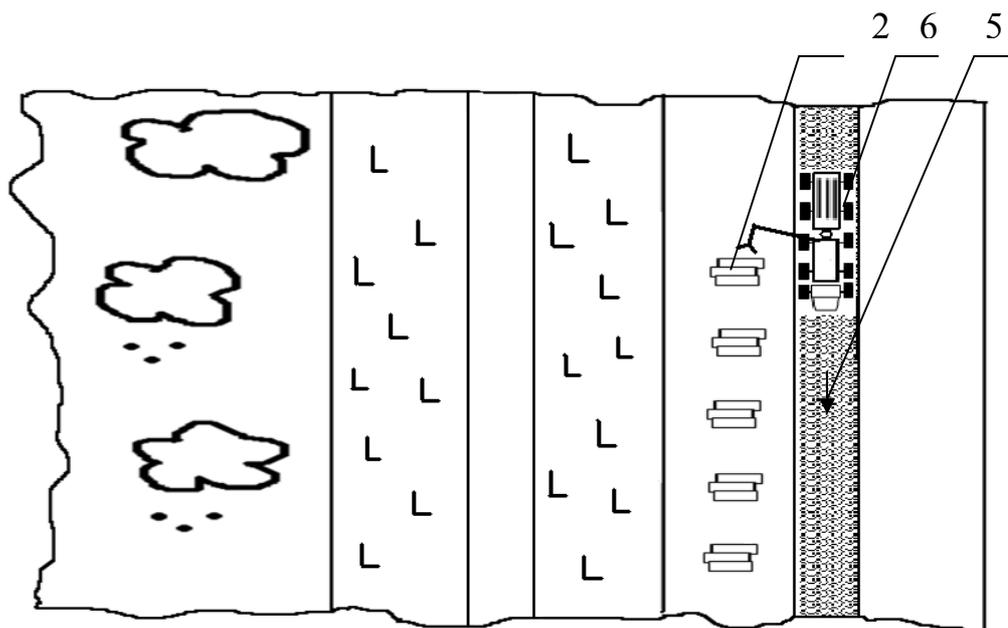


Рис. 3. Схема погрузки сортиментов САП:

2 – кучи сортиментов; 6 – самопогружающийся автопоезд; 5 – вдольтрассовая дорога

**Вывод.** Предлагаемый способ разработки НГТП позволяет сэкономить энергоресурсы за счет исключения из системы трелевочной машины, а также обустроить вдольтрассовую дорогу на переувлажненных территориях.

#### Список литературы

1. Ширнин, Ю. А. Проблемы экологических последствий эксплуатации лесных территорий нефтегазовых месторождений и трубопроводов / Ю. А. Ширнин // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2010. – № 3. – С. 124-126.
2. Вороницын, К. И. Машинная обрезка сучьев на лесосеке / К. И. Вороницын, С. М. Гугелев. – М.: Лесн. промышленность, 1989. – 272 с.
3. СП 103-34-96. Свод правил по сооружению магистральных газопроводов. Подготовка строительной полосы (утверждено РАО «Газпром»). – Введ. 01.10.96. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 14 с.
4. СНиП III-42-80. Магистральные трубопроводы / Всероссийский научно-исследовательский институт по строительству трубопроводов и объектов ТЭК. – М.: АО ВНИИСТ, 1997. – 90 с.
5. СП 34-112-97. Свод правил. Строительство магистральных и промысловых трубопроводов. Комплексная технология и организация / Инжиниринговая научно-исследовательская компания. Всероссийский научно-исследовательский институт по строительству трубопроводов и объектов ТЭК. – М.: АО ВНИИСТ, 1997. – 80 с.

Статья поступила в редакцию 20.02.11.

*Yu. A. Shirnin, I. A. Polyanin, A. Yu. Shirnin, A. Yu. Vitrenko*

#### TECHNOLOGY OF DEVELOPMENT OF OIL AND GAS PIPELINE ROUTES IN FORESTS

*A technology of cutting of wood territories for oil and gas pipeline routes by means of a set which includes felling and bunching and delimeter-crosscutter machines and self-loading lorry convoy is presented. The technology provides power consumption economy and makes an opportunity to carry out the work at the water-logged territories.*

**Key words:** oil and gas pipeline routes, harvesting technology, laid along the road route, forest line.

*ШИРНИН Юрий Александрович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесопромышленных производств МарГТУ. Область научных интересов – управление экологическими последствиями эксплуатации лесосырьевых ресурсов. Автор 257 публикаций.

E-mail: ShirinYA@marstu.net

*ПОЛЯНИН Игорь Александрович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой транспортно-технологических машин МарГТУ. Область научных интересов – водный транспорт леса, переработка пнево́й древесины, сортировка технологической щепы, транспортировка лесоматериалов малыми средствами, экология и обустройство акваторий ГЭС. Автор более 70 публикаций.

E-mail: PolyininIA @marstu.net

*ШИРНИН Александр Юрьевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности МарГТУ. Область научных интересов – технология лесозаготовок, лесосечные работы. Автор 20 публикаций.

E-mail: alex-1567@yandex.ru

*ВИТРЕНКО Алёна Юрьевна* – магистр кафедры технологии и оборудования лесопромышленных производств МарГТУ. Область научных интересов – технология лесозаготовок, лесосечные работы. Автор двух публикаций.

E-mail: elvie20vip@yandex.ru

УДК 626.5. 53/54

**В. П. Сапцин, Б. Ф. Лаврентьев**

## РЕЖИМЫ ДВИЖЕНИЯ КАМЕРЫ ТРАНСПОРТНОГО СУДОПОДЪЁМНИКА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ЛЕСНЫХ ГРУЗОВ

*Рассмотрены режимы движения камеры транспортного наклонного судоподъёмника в модельных условиях, близких к равноускоренному режиму. Для сокращения времени на перемещение грузов между бьефами рекомендуется использовать формирователь временных сигналов в системе управления движением камеры судоподъёмника.*

**Ключевые слова:** транспортные судоподъёмники, система привода движением камеры; таймеры, лесовозные баржи; плоты сортиментные и хлыстовые.

**Введение.** Традиционные судопропускные сооружения – судоходные шлюзы при своей работе расходуют значительные объемы воды [1]. Транспортные наклонные судоподъёмники (ТНС) позволяют значительно экономить воду. Так, общие потери воды, из верхнего бьефа в нижний, составляют в лестнице судоходных шлюзов от 1 до 7 м<sup>3</sup>/с, а в ТНС – от 0,015 до 0,040 м<sup>3</sup>/с. Вопрос экономии воды является важным в экологическом отношении преимуществом ТНС в двух случаях: в первом случае, особенно, на высоконапорных гидроузлах комплексного транспортно-энергетического назначения ТНС обеспечивает выработку дополнительной электроэнергии, во втором – способствует улучшению систем водоснабжения. Кроме того, обнаружить утечку нефтепродуктов легче всего в подвижной камере судоподъёмника и предпринять защитные мероприятия.

ТНС обладает эффектом энергосберегающих технологий. При спуске камеры используется режим динамического торможения, т.е. работа гидромоторов переходит в режим насосов, а работа двигателей в режим генераторов. Происходит рекуперация электроэнергии в сеть. Возвращается около 25–30 % энергии, затраченной на подъем.

Решение линеаризованной задачи о колебаниях воды малой амплитуды в свободной от судов камере при произвольном законе разгона или торможения ранее равномерно двигавшейся камеры [2] имеет недостатки. Продольные перемещения незакрепленного «гибкого» судна, следующего за водной поверхностью, при мгновенной остановке камеры с продольной компоновкой, переносятся на камеру с поперечной компоновкой [3, 4]. При этом не учитывается влияние движущегося судна на трансформацию волновой картины в камере. Это приводит к завышению максимальных перемещений судна, что, как принято говорить, «идет в запас конструкции» по условиям безопасных габаритов камеры. Основная обработка результатов натурных испытаний на судоподъёмнике Красноярского гидроузла и их сопоставление с теоретическими расчетами в условиях трехступенчатого разгона камеры показала удовлетворительную сходимость как в частотном отношении, так и по амплитудам колебаний волновых параметров в натурных условиях в камере в условиях линейного приближения и на модели [4].

**Цель** настоящей работы – получение расчетных зависимостей, позволяющих оценить безопасные условия транспортировки грузов в эксплуатационных условиях, и тем

самым оценить пропускную способность ТНС даже на ранней стадии проектирования при сравнении вариантов судопропускных сооружений.

**Методика исследований.** Лабораторные исследования выполнены для модели продольного расположения камеры [2] и поперечного судоподъемника [5]); моделирование осуществлялось по закону гравитационного подобия (по Фрудру). Опыты проводились с учетом колебаний воды и перевозимых грузов в камере с обязательным повтором, расхождение основного опыта и повтора не должно превышать  $\pm 5\%$ , при больших расхождениях опыт повторялся.

**Основные результаты и их обсуждение.** Система интегро-дифференциальных уравнений колебаний воды и транспортируемых грузов в камере ТНС в связанном виде приведена в работах [2, 3]. Выделим из системы интегро-дифференциальных уравнений параметры, характеризующие движение транспортируемого груза. При неравномерном движении камеры ТНС на транспортируемое тело действуют следующие силы [5]:

- 1) силы инерции переносного движения камеры на транспортируемый груз;
- 2) силы волнового воздействия при неравномерном движении камеры;
- 3) силы натяжения в причальных устройствах (тросах);
- 4) силы трения о смоченную поверхность тела (секцию плота);
- 5) силы ветрового воздействия.

Две последние силы пренебрежимо малы по сравнению с предыдущими, поэтому в дальнейшем их учитывать не будем.

Линейные продольные (поперечные) перемещения секции плота в этой системе представлены следующим уравнением:

$$M_c \frac{d^2 x_c}{dt^2} = -M_c j_x + \rho g' \int_{x_1(t)}^{x_2(t)} \omega_c (x - x_c) \frac{\partial \zeta}{\partial x} (x, t) dx + F_{np}, \quad (1)$$

где  $M_c$  – масса секции плота;  $x_c$  – продольная координата центра тяжести плота;  $t$  – время;  $j_x$  – горизонтальная составляющая ускорения движения камеры;  $\rho$  – плотность воды;  $g'$  – ускорение свободного падения с учетом вертикальной составляющей ускорения движения камеры;  $\omega_c$  – площадь поперечного сечения плота;  $\zeta$  – амплитуда волны в камере при её неравномерном движении;  $F_{np}$  – продольная сила в швартовных канатах.

Рассмотрим, как ведут себя колебания воды в камере в зависимости от степени закрепления плота к её стенкам (частотные характеристики), т.е. проанализируем влияние последнего члена уравнения зависимости (1). Были проведены специальные опыты с телами (судами, секциями плотов), связанными со стенками камеры различными способами. Период колебаний воды при наличии плота в камере обозначим через  $T_c$ . Результаты опытов представлены на рис. 1 в безразмерном виде, отнесем численную величину к  $2T_k$  (периоду колебаний воды в свободной от транспортируемых грузов камере) по оси ординат, а по оси абсцисс – также введем безразмерную величину: глубину воды в камере  $h_k$  отнесем к величине осадки (секции плота)  $s$ . Здесь на рис. 1 следующие обозначения:

$T_k = \frac{L_k}{\sqrt{gh_k}}$ ;  $L_k$  – габаритная длина камеры для продольного судоподъемника ( $B_k$  – габаритная ширина для поперечного судоподъемника);  $x_c, \psi_c, \eta_c$  – соответственно продольные (поперечные) линейные перемещения центра тяжести, продольный (поперечный) дифферент, вертикальные колебания центра тяжести плота

или соответственно для поперечного судоподъемника  $T_k = \frac{B_k}{\sqrt{gh_k}}$ .

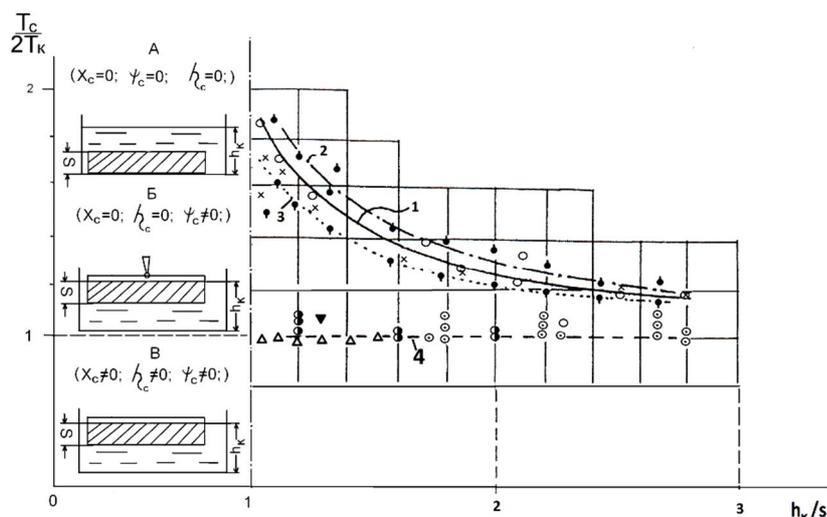


Рис. 1. Период колебаний воды в камере при наличии плота: Серия «А»: о – теория по формуле (2); x – эксперимент с уступом на дне (кривая 1). Серия «Б»: ● – теория по формуле (2) (кривая 3); ● – эксперимент (кривая 2). Серия «В»: Δ – незакрепленный плот в камере с продольной компоновкой; ○ – плот, закрепленный за гидравлические амортизаторы (продольная камера); Э – незакрепленный плот в камере с поперечной компоновкой; ▼ – опыт де Риса с незакрепленным плотом в камере с продольной компоновкой [11]

Волны, возникающие в камере в период её неравномерного движения, фиксировались датчиками-волномерами с записью на осциллографе. Период колебаний волн в камере определялся через 0,1 с.

В серии «А» моделировалось «жесткое» закрепление плота. Были проведены опыты с «уступом» на дне камеры, имитирующие «жесткое» закрепление плота ( $x_c = 0; \psi_c = 0; \eta_c = 0$ ). Серия из 15 опытов показала, что опытные точки хорошо описываются зависимостью (2), полученной теоретическим путем О. Ф. Васильевым [6, 7] и экспериментальными исследованиями А. В. Михайлова [7, 8]:

$$T_c = 2 \left[ \frac{(L_k - l_c)}{c_k} + \frac{l_c}{c_c} \right], \quad (2)$$

где  $c_k = \sqrt{gh_k}$  – скорость распространения волны возмущения на открытых участках камеры;  $c_c = \sqrt{\frac{g(b_k h_k - \omega_c)}{b_k}}$  – скорость распространения волны возмущения в пределах корпуса плота ( $b_k$  – ширина камеры).

В серии «А» опытные точки практически совпадают с аналитической формулой (2).

В серии «Б» рассматривался период колебаний волн в камере с телом, жестко рассчитанным в отношении продольных (поперечных) и вертикальных перемещений его центра тяжести ( $x_c = 0; \eta_c = 0; \psi \neq 0$ ), однако имеющим возможность совершать продольные или поперечные угловые колебания. Серия «Б» состояла из 20 опытов. Результаты эксперимента (рис. 1, кривая 2) и расчета по формуле (2) (рис. 1, кривая 3) показали, что опытные точки располагаются несколько выше расчетной кривой. Абсолютная погрешность не превышает 14 % при  $h_k/s = 1,11$ , с увеличением  $h_k/s$  погрешность уменьшается до 3 % при  $h_k/s = 2,65$ . Это объясняется неизбежностью вертикальных и угловых колебаний центра тяжести тела при наличии волны. Следовательно, даже при таком закреплении плота в камере ТНС может быть использована формула (2).

Серия «В» заключалась в проведении экспериментальных опытов с незакрепленным в камере телом, т.е. неучаленной секцией плота ( $x_c \neq 0; \eta_c \neq 0; \psi_c \neq 0$ ). Опытные точки расположились вблизи от прямой 4 (рис.1.) Сюда же были нанесены опытные точки, характеризующие период колебаний неучаленной секции плота в камере судоподъёмника с поперечной компоновкой [9], а также колебания плота, зачаленного за специальные гидравлические амортизаторы, предотвращающие обрыв швартовных тросов при экстренной остановке камеры. В серии «В» – более 30 опытных точек, которые располагаются при  $T_c/2T_k \cong 1$ , их можно аппроксимировать прямой 4 (рис. 1), близкой к единице [10].

Таким образом, период колебаний воды в камере при её неравномерном движении, вызванный периодом разгона (торможения), может быть в первом приближении принят за период колебаний воды в камере, свободной от грузов.

Сортиментный плот, состоящий из пучков, имеет прочную волноустойчивую конструкцию как в продольном, так и в поперечном отношении, поэтому представляет собой «гибкую» систему, следящую за волновой поверхностью воды в камере ТНС. Секция плота закреплена тросами к неподвижной стенке камеры (рис. 2).

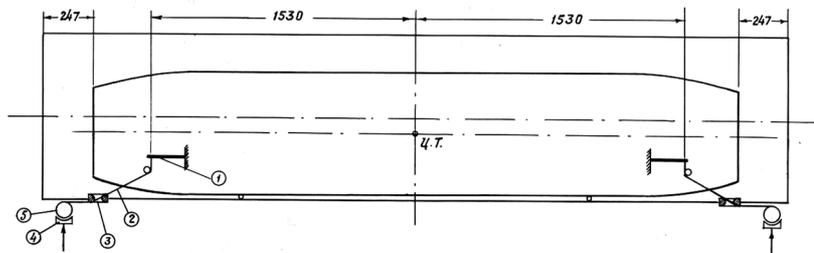


Рис. 2. Имитация работы гидравлического амортизатора на модели Красноярского судоподъёмника: 1 – упругий элемент с тензометрическими датчиками; 2 – модельный трос (кордовая нить); 3 – направляющий клюз; 4 – тормозная колодка; 5 – фрикционный барабан

Работа «гидравлического амортизатора» на модели имитировалась сухим трением [2], для чего было изготовлено фрикционное устройство для носового и кормового швартовного троса. Модельный трос навивался на барабан, заторможенный фрикционной колодкой (см. рис. 2). Фрикционное устройство было настроено на усилие в швартовном тросе  $82 \text{ кН}$  ( $\approx 8,2 \text{ т}$ , для натуре) для условий Красноярского судоподъёмника, которое выдерживалась в опытах с отклонениями  $\pm 10 \%$ . Опыты показали эффективность работы фрикционного устройства для предотвращения обрыва швартовных тросов при экстренном торможении камеры ТНС. Модель транспортируемого плота зачаливалась тросами за фрикционные устройства к продольной стенке камеры на расстоянии  $0,8 \text{ см}$  ( $20 \text{ см}$  для натуре) от неё. При экстренном торможении камеры судно начало перемещаться вперед по ходу движения камеры и в кормовом тросе появлялось усилие, быстро достигающее максимальной величины. Кормовое фрикционное устройство, проворачивая заторможенный барабан, стравливало трос при усилии в нем  $8,0\text{--}10,0 \text{ т}$  и находилось вместе с кормовым тросом в рабочем состоянии  $8\text{--}10 \text{ с}$ . Модель судна останавливалась при движении его вперед и начинала движение в противоположном направлении, кормовой трос разгружался и провисал. Как только модель судна достигала своего первоначального положения, начинал работать носовой трос и фрикционное устройство в течение  $10\text{--}12 \text{ с}$ . Все численные значения даны для натуре при моделировании по закону гравитационного подобия (по Фрудру).

Продольные колебания модели судна довольно быстро затухают (рис. 3), только первые два колебания вперед и назад по ходу движения камеры представляют реально ощутимую величину, с учетом этого опытные экспериментальные точки нанесены на рис. 1.

Уравнение (1) для продольных перемещений судна, лишённого связей со стенками камеры, т.е. незакрепленного судна, будет выглядеть следующим образом: при  $\omega_c \approx const$  [5]

$$M_c \frac{d^2 x_c}{dt^2} = -M_c j_x + \rho g' \omega_c [\zeta_1(x_1, t) - \zeta_2(x_2, t)]. \quad (3)$$

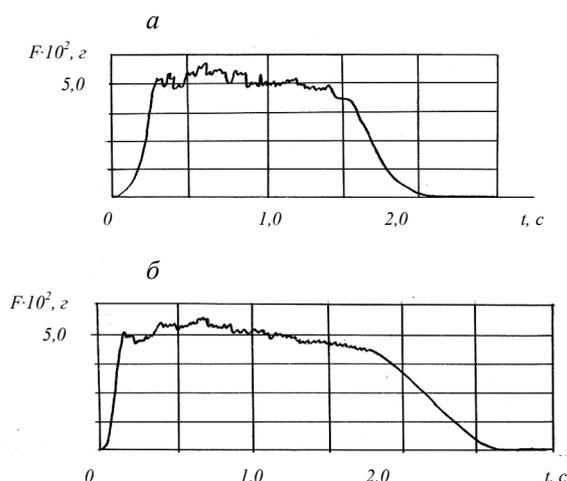


Рис. 3. Характер изменения усилий в тросах при работе фрикционного устройства: а – кормового; б – носового

движение камеры по рельсовым путям происходит по ширине камеры. Суть сводится к следующему: в случае «быстрого» разгона или торможения камеры (при  $t \leq T_k$ ) к моменту окончания периода разгона, когда у торцов камеры заканчивается формирование волн повышения и понижения, волны не успевают еще добежать до противоположного торца камеры и высота сформировавшихся волн получается той же величины, что и при мгновенной остановке судовозной камеры [3]. При заданной скорости  $V_0$  от времени разгона (торможения)  $t$  камеры зависит лишь крутизна волн, но не их амплитуда. В случае «медленного» эксплуатационного режима (при  $t > T_k$ ) волны, образующиеся у торцов камеры, успевают добежать до противоположных ее торцов еще до окончания процесса завершения периода разгона (торможения), что приводит к колебанию уровня воды у этих стенок с периодом  $2T_k$  и амплитудой  $|j_x| L_k / g$  (или  $|j_x| B_k / g$ ) [3].

Для исследования эксплуатационных режимов движения модели камеры возникла необходимость варьировать временем неравномерного движения. С этой целью совместно с кафедрой проектирования и производства электронно-вычислительных систем МарГТУ был разработан формирователь временных сигналов (ФВС), структурная схема которого приведена на рис. 4.

ФВС включает в себя кварцевый генератор на 32768 Гц, делитель частоты на 1638, счетчик с регулируемым коэффициентом пересчета, формирователь сигналов ускорения, формирователь сигналов торможения и два усилителя мощности, которые нагружены на электромагнитные реле  $P_1$  и  $P_2$ . ФВС выдает сигналы на разгон и ускорение с заданной длительностью от 0,05 до 12,8 с с дискретностью 0,05 с. Запуск форми-

Из уравнения (3) можно видеть, что силе инерции переносного движения камеры ( $-M_c j_x$ ), действующей на секцию плота, противодействует сила суммарного волнового воздействия на оконечности судна  $\rho g' \omega_c [\zeta_1(x_1, t) - \zeta_2(x_2, t)]$  от волн, возникающих в период неравномерного движения камеры.

В опытах наибольших колебаний волн с учетом всплеска у боковых стенок камеры при модельных испытаниях поперечного судоподъемника зафиксировано не было. Это связано с тем, что габаритные размеры камеры наклонного транспортного судоподъемника совершенно иные – дви-



Рис. 4. Структурная схема формирователя временных сигналов (ФВС)

исходном состоянии счетчик находится в состоянии «ноль», т.к. на его вход «R» поступает сигнал «1». При поступлении сигнала «Ускорение» триггер в формирователе сигнала ускорения устанавливается в состояние «1». При этом разрешается работа счетчика с регулируемым коэффициентом пересчета, а на усилитель мощности 1 поступает сигнал, который усиливается и включает реле  $P_1$ . Через заданное время сигнал с выхода счетчика с регулируемым коэффициентом пересчета через дифференцирующую цепочку RC поступает на вход «R» формирователя сигнала «ускорение», устанавливая его в «0». При этом запрещается работа счетчика с регулируемым коэффициентом пересчета и отключается реле  $P_1$ . Аналогично работает схема при приходе сигнала «Торможение». При этом на заданное время включается реле  $P_2$ . Таким образом, начало работы модельной установки определяется приходом сигналов «Ускорение» или «Торможение». ФВС входит в состав схемы управления привода модели ТНС. Проверка работы формирователя временных сигналов проводилась на модельной установке поперечного ТНС применительно к Богучанскому гидроузлу, в которой представлены основные результаты исследований [5].

Таким образом, рациональные режимы движения камеры ТНС могут быть выбраны с учетом периодов колебаний воды в свободной от перевозимых грузов камере, т.е. время разгона (торможения) камеры принимается кратным величине  $2nT_k$ , где  $n$  – натуральное число (1, 2, 3...n). При режимах, соответствующих другим благоприятным эксплуатационным условиям разгона камеры (соответственно торможения), за  $4T_k$ ,  $6T_k$ ,  $8T_k$  и  $10T_k$  получены соответствующие зависимости [5].

Выбор рациональных режимов движения камеры ТНС может рассматриваться как для вновь проектируемого лесо-судопропускного устройства, так и при подборе размеров секции плота размерам камеры судоподъемника.

Для первого случая: в зависимости от габаритных размеров секций плотов, эксплуатируемых в указанных бассейновых управлениях пути, выбираются габаритные размеры камеры: определяется осадка секции плота, его тип подводной части. Оценивается глубина наполнения камеры для безаварийной её работы [4], предполагаемая скорость равномерного движения камеры, определяются габаритные размеры камеры. Затем при эксплуатационных условиях  $T_p = 2 \times l \times T_k$ , соответствующих самым быстрым условиям транспортировки, определяются условия перевозки грузов и грузооборот со-

рователей производится при нажатии кнопок К1 «Ускорение» и К2 «Торможение». Установка длительности импульсов производится переключателем. Работа ФВС производится следующим образом: кварцевый генератор формирует стабильную частоту 32768 Гц, которая поступает на делитель частоты с коэффициентом деления 1638. С выхода делителя сигналы с частотой 20 Гц поступают на вход счётчика с регулируемым коэффициентом пересчета. В

оружения. При необходимости скорость равномерного движения камеры может быть увеличена. В этом случае следует рассчитывать линейные продольные перемещения транспортируемых грузов по следующей формуле:

$$x_{\max} \cong \varepsilon(\Delta\ell + \ell_c / 4), \quad (4)$$

$x_{\max}$  – линейные перемещения центра тяжести плота при центральном расположении на случай мгновенной остановки камеры при движении вверх по наклонному пути;  $\Delta\ell$  – запас по длине (ширине) от стенок камеры;  $\ell_c$  – приведенная длина плота;  $\varepsilon = V_o \cos\theta / \sqrt{gh_k}$  – скоростной коэффициент. Здесь  $V_o$  – скорость равномерного движения камеры;  $\theta$  – угол наклона рельсовых путей.

Для второго случая: при оценке пропускной способности ( грузообороте) также может быть увеличена скорость равномерного движения камеры, проверка по формуле (4) обязательна. Поперечные линейные перемещения секции плота с учетом реальных волновых воздействий на боковые оконечности плота по времени разгона и торможения модели приведены на рис. 5. Граничные условия колебаний волн с учетом секции незакрепленного плота можно разделить на пять этапов:  $0 \leq t \leq \delta T_k$ ;  $\delta T_k \leq t \leq (1-\delta)T_k$ ;  $(1-\delta)T_k \leq t \leq (1+\delta)T_k$ ;  $(1+\delta)T_k \leq t \leq (2-\delta)T_k$ ;  $(2-\delta)T_k \leq t \leq (2+\delta)T_k$ .

Наибольшая скорость перемещения секции плота в условиях линейного приближения волновых колебаний в камере, при времени неравномерного движения  $T=2nT_k$ , будет:

$$V_{\text{секц.}}\left(\frac{T_k}{2}\right) = -\frac{V_o \cos\theta}{8n} \times \frac{1-4\delta^2}{1-2\delta} = -\frac{V_o \cos\theta}{8n} \times (1+2\delta) \quad (5)$$

и

$$V_{\text{секц.}}\left(\frac{3T_k}{2}\right) = \frac{V_o \cos\theta}{8n} \times \frac{1-4\delta^2}{1-2\delta} = \frac{V_o \cos\theta}{8n} \times (1+2\delta). \quad (6)$$

Наибольшие линейные перемещения центра тяжести перевозимого груза будут определяться по следующей формуле:

$$X_{\text{секц.}}(T_k) = -\frac{V_o \cos\theta \times T_k}{12n} \times (1+2\delta - \frac{9}{2}\delta^2). \quad (7)$$

Эти условия проиллюстрированы на рис.2 [5, с. 60].

Время неравномерного движения камеры зависит от величины натурального числа  $n$ : при  $n=1$  – противодействует только один «качок» волновых воздействий, при  $n=2$  – два «качка», и т.д. Наиболее быстрым будет время разгона за  $T_p=2 \times l \times T_k$ , относительная амплитуда колебаний волн будет в 1,98 раза больше, чем за время неравномерного движения при  $n=2$ . Следует отметить, что при времени разгона камеры более, чем за  $2T_k$ , приведенные в табл. 1 [5, с.63], создаются «щадящие» условия как для амплитуды колебаний волн в камере, так и для перемещений секции плота, однако это удлиняет цикл пропуска плотов. Для оценки коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$ , приведенных в табл. 1 [5, с. 63], можно воспользоваться графиком (рис.6).

Достаточно определить отношение габаритной длины секции плота к габаритной длине камеры, по графику (рис. 6) можно оценить значения этих коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$ . Пропускная способность транспортных судоподъемников изложена в работе [11].

Таким образом, рассмотрен процесс колебаний секции плота, не прикрепленного к стенкам камеры. Инерционными перемещениям грузов противодействует суммарная волновая сила при неравномерном движении камеры ТНС.

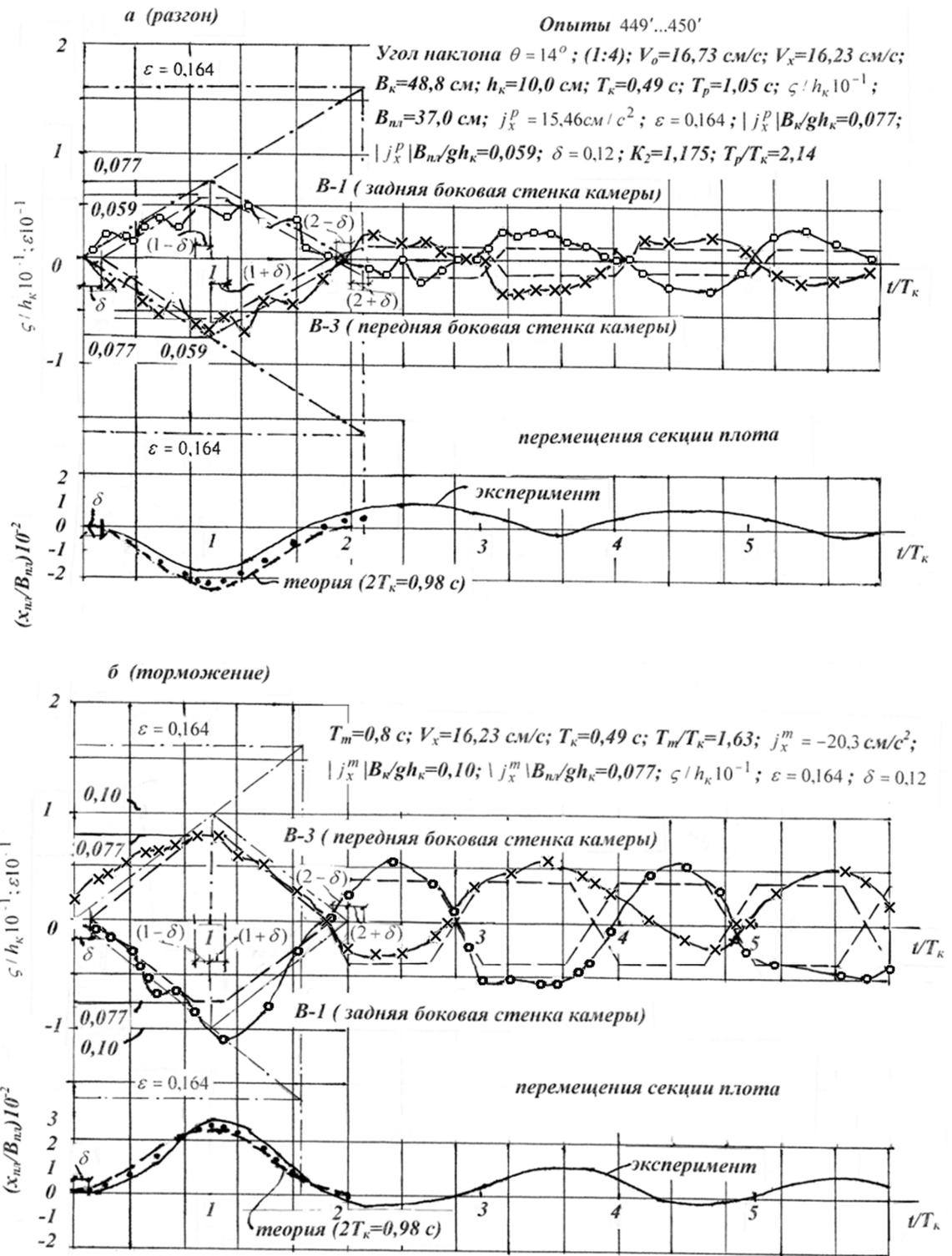


Рис. 5. Результаты модельных исследований в поперечном судоподъёмнике по перемещениям сечения плота: сплошная линия – эксперимент; пунктирная линия – теория с учетом линейного приближения; • – перемещения по реальным параметрам времени разгона и торможения камеры

Однако расчаливать плот в камере следует, чтобы он не переместился от центрального положения до начала движения камеры ТНС, легкими тросами, провисающими при закреплении по форме цепной линии.

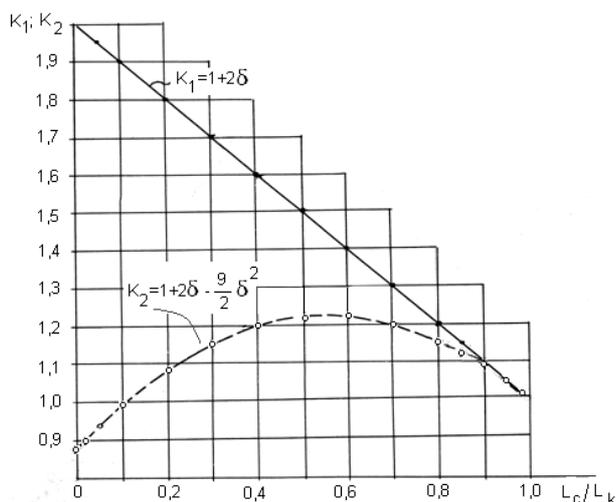


Рис. 6. График определения коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$

руемого груза для конкретной камеры исключается возможность аварийного состояния сооружения во время эксплуатации. Введение таймера в систему управления движением камеры позволит обеспечить увеличение грузооборота ТНС.

**Выводы.** Рациональные режимы времени разгона и торможения камеры ТНС предлагается выбирать с учетом периодов колебаний воды в свободной от перевозимых грузов камере, т.е. время разгона или торможения камеры принимается кратным величине  $2nT_k$ , где  $n$  – натуральное число (1, 2, 3...n).

Для сокращения времени полуцикла работы ТНС рекомендуется в системе управления камеры предусмотреть таймер (ФВС), который позволяет создать благоприятные условия при транспортировке грузов. При правильно подобранных размерах транспорти-

#### Список литературы

1. Сапцин, В.П. Природоохранные мероприятия при проектировании лесо-судопропускных сооружений / В.П. Сапцин // Сб. трудов междунар. симпозиума «Гидрологические и экологические процессы в водоемах и их водосборных бассейнах». – Новосибирск: РАН СО, 1995. – С. 45.
2. Атавин, А.А. Исследования гидродинамических процессов, возникающих при работе судоподъемника Красноярского гидроузла / А.А. Атавин, О.Ф. Васильев, В.П. Сапцин // Тр. Гидропроекта. – 1978. – № 62. – С. 100-132.
3. Атавин, А.А. Гидродинамические процессы в судопропускных сооружениях / А.А. Атавин, О.Ф. Васильев, А.П. Яненко. – Новосибирск: ВО «Наука», Сибирская издат. фирма, 1993. – 101 с.
4. Атавин, А.А. Обоснование габаритных размеров камеры наклонных судоподъемников из условия их безаварийной эксплуатации / А.А. Атавин, В.П. Сапцин // Безопасность речных судоходных гидротехнических сооружений: Мат. международной научно - практической конференции. Книга II. – СПб.: СПГУВК, 2008. – С. 57-72.
5. Сапцин, В.П. Условия перевозки лесных грузов в камере транспортного наклонного судоподъемника / В.П. Сапцин // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2009. – № 1. – С. 59-70.
6. Васильев, О.Ф. Приближенные дифференциальные уравнения колебаний воды в судовозных камерах наклонных судоподъемников и камерах шлюзов с сосредоточенными системами наполнения / О.Ф. Васильев // Науч. докл. высшей школы. Сер.: Строительство. – 1958. – № 2. – С. 243 - 251.
7. Atavin, A.A. Calculations of oscillation of water and vessels in canals and chambers of Navigation on structures / A.A. Atavin, A.V. Mikhailov, O.F. Vasiliev // XI Congress of the Intern. Association for Hydraulic Research. – Leningr. (USSR), 1965. P. – 1 - 17.
8. Михайлов, А.В. О неустановившемся движении воды в камерах шлюзов и его влиянии на условия отстоя судна / А.В. Михайлов // Гидравлика сооружений и динамика речных русел. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – С. 5-25.
9. De Ries, J. Etude sur le mouvement de et les forces d'amarrage des bateaux dans un sas mobile / J. De Ries // Annales des travaux publics de Belgique. – 1962. – № 4. – P. 379-408; №5. – P.451-508.
10. Сапцин, В.П. Частотные характеристики плавающих тел в камере лесо - судопропускного сооружения / В.П. Сапцин // Научно - метод. тр. фак-та природообустройства и водных ресурсов. – Йошкар - Ола: МарГТУ, 1999. – Вып. I – С. 27 - 31.
11. Онипченко, Г.Ф. Анализ условий пропуска судов через Красноярский судоподъемник / Г.Ф. Онипченко // Сб. научн. тр. Гидропроекта. Вып 132: Гидравлика водосборных и судопропускных сооружений гидроузлов. – М.: АТОМ, 1988. – С. 71-76.

Статья поступила в редакцию 18.01.11.

*V. P. Saptsin, B. F. Lavrentyev*

**ECOLOGICAL MOTION OPERATIONS OF THE TRANSPORTING INCLINED PLANES CHAMBER FOR TIMBER FREIGHTS SHIPPING**

*Motion ecological operations of the transporting inclined planes chamber are examined in the conditions which are similar to the conditions with constant acceleration. To reduce time for the freights lifting (from downwater to headwater or vice versa) it's recommended to use the time signals generator (timer register) in the system of the transporting inclined planes chamber motion control during field experiments.*

**Key words:** *shipping inclined planes, drive system of the chamber motion, timer registers, timber barges, assortment and tree-length rafts.*

---

*САПЦИН Валерий Петрович* – доктор технических наук, профессор кафедры водных ресурсов МарГТУ. Область научных интересов: гидродинамические процессы в замкнутых акваториях, волновые процессы, проектирование и безопасность гидротехнических сооружений, включая речные судоходные гидротехнические сооружения. Автор более 120 публикаций.

E-mail: [sapcinvp@marstu.net](mailto:sapcinvp@marstu.net)

*ЛАВРЕНТЬЕВ Борис Федорович* – кандидат технических наук, профессор кафедры проектирования и производства электронно-вычислительных систем МарГТУ. Область научных интересов – электроника, информационно-измерительные системы и комплексы, экология. Автор 256 публикаций, имеет 52 авторских свидетельства.

E-mail: [kppevs@marstu.net](mailto:kppevs@marstu.net)

## ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

УДК 502.72(470.343)

*А. В. Исаев, Г. А. Богданов*

### СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СЕТИ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ В РЕСПУБЛИКЕ МАРИЙ ЭЛ

*Приведены результаты анализа современного состояния сети особо охраняемых природных территорий Республики Марий Эл, особое внимание обращено на территории республиканского подчинения, даны рекомендации по ее совершенствованию.*

**Ключевые слова:** *особо охраняемые природные территории, памятники природы, заказники.*

**Введение.** По состоянию на 1 сентября 2011 года в Республике Марий Эл (РМЭ) существует сеть особо охраняемых природных территорий (ООПТ) общей площадью 95797 га (4,3 % общей площади территории), которые изъяты полностью или частично из хозяйственного использования для сохранения уникальных природных систем и отдельных видов организмов [1]. ООПТ являются «визитной карточкой» республики и относятся к объектам национального достояния. На основе состояния сети ООПТ можно судить в определенной мере о степени экономического и социального развития региона.

Сеть ООПТ на территории республики создавалась часто спонтанно, без должного научного и экономического обоснования. На протяжении существования ООПТ не проводилось подобающей их инвентаризации и эффективности выполнения ими целевых функций. В связи с этим остро назрела необходимость анализа современного состояния сети ООПТ в республике и поиск путей её оптимизации.

**Цель работы** – оценить современное состояние сети ООПТ республиканского значения РМЭ и разработать рекомендации по её совершенствованию.

Объектами исследований, проведенных в 2008–2009 гг. в рамках договора с Министерством сельского хозяйства, продовольствия и природопользования РМЭ, явились ООПТ республиканского подчинения. Работа состояла из следующих этапов:

- обработка имеющейся информации по ООПТ (научно-исследовательские работы, паспорта памятников природы и охранные обязательства, кадастровые сведения, нормативные правовые акты РФ и РМЭ);
- проведение рекогносцировочного обследования ООПТ с закладкой временных пробных площадей (всего заложено более 60 ВПП) с описанием на них растительного покрова и встреченных представителей животного мира, а также деятельности человека (визуально);
- разработка рекомендаций по организации и поддержанию режима охраны ООПТ.

Т а б л и ц а 1

## Реестр ООПТ республиканского значения РМЭ

№ п/п	Название ООПТ	Муниципальное образование	Профиль	Год образования	Площадь, га
Заказники					
1.	«Горное Заделье»	Куженерский	Комплексный	1997	562
2.	«Холодный Ключ»	Мари-Турекский	Биологический	2002	123,3
3.	«Каменная Гора»	Моркинский и Куженерский	Комплексный	2003	1294
4.	«Емешевский»	Горномарийский	Видовой	1994	5800
5.	«Моркинский»	Моркинский	Видовой	2002	9500
6.	«Тогашевский»	Килемарский	Биологический	2000	3419
7.	«Лебедань»	Звениговский	Лесомелиоративный	1977	1661
8.	«Марьерский»	Звениговский	Биологический	1982	200
	Итого заказников				22559,3
Памятники природы					
1.	Болото Железное	Волжский	Комплексный	1993	40
2.	Болото Березовое	Волжский	Комплексный	1987	26
3.	Кедровая роща (1910 г.)	Горномарийский	Ботанический	1987	0,4
4.	Нагорная дубрава	Горномарийский	Ботанический	1987	11
5.	Озеро Карасьяр	Горномарийский	Гидрологический	1987	25,5
6.	Озеро Нужьяр	Горномарийский	Гидрологический	1987	34,2
7.	Болото Карасьяр	Горномарийский	Комплексный	1987	1604
8.	Болото Волчье	Горномарийский	Комплексный	1994	1380
9.	Болото Большеозерское	Горномарийский	Комплексный	1994	1260
10.	Эталонные насаждения ели	Куженерский	Ботанический	1987	25
11.	Река Ирека	Мари-Турекский	Зоологический	1996	40
12.	Болото Мартын	Медведевский	Комплексный	1987	787
13.	Болото Криуль	Медведевский	Комплексный	1993	61
14.	Озеро Большой Мартын	Медведевский	Гидрологический	1987	74
15.	Карман Курык	Моркинский	Геологический	1987	36
16.	Озеро Табашинское	Оршанский	Гидрологический	1993	26,2
17.	Реликтовые леса	Параньгинский	Ботанический	1994	48
18.	Лиственничные рощи (1905 г.)	Сернурский	Ботанический	1987	5,1
19.	Болото Шидьяр (Туриловское)	Юринский	Комплексный	1987	1007
20.	Болото Подвесное (Козиковское)	Юринский	Комплексный	1987	801
21.	Озеро Светлое	Юринский	Гидрологический	1994	8
22.	Озеро Гусинец	Юринский	Гидрологический	1994	8,2
23.	Озеро Малый Мартын	Звениговский	Гидрологический	1987	14
24.	Озеро Таир	Звениговский	Гидрологический	1987	45
25.	Озеро Шордыер	Звениговский	Гидрологический	1987	14,5
26.	Озеро Лисичкино	Звениговский	Гидрологический	1987	21,4
27.	Болото Большое	Звениговский	Комплексный	1987	746
28.	Болото Сорочинское	Звениговский	Комплексный	1987	150
29.	Река Шуйка	Звениговский	Зоологический	1987	64
30.	Роща лиственницы сибирской	Килемарский	Ботанический	1987	0,7
31.	Кумьяры (три озера)	Килемарский	Гидрологический	1987	121,4
32.	Куплангское Болото	Килемарский	Комплексный	1987	4988
33.	Тыр-болото	Килемарский	Комплексный	1987	1050
34.	Болото Мадарское	Килемарский	Комплексный	1987	230
35.	Озеро Лужьяр	Килемарский	Гидрологический	1994	96
36.	Озеро Шамьяры	Килемарский	Гидрологический	1994	86
	Итого памятников природы				14934,6

**Результаты и обсуждение.** По состоянию на 1 января 2011 года в Марий Эл доля ООПТ республиканского подчинения составляет 39,1 % (37493,9 га) от общей площади всех ООПТ. Она включает восемь заказников и 38 памятников природы, которые расположены в пределах только семи районов республики из 14 имеющихся (табл. 1). Наибольшую долю (60 %) по площади занимают заказники.

По природоохранному профилю ООПТ распределены неравномерно: наиболее представлены по площади комплексные и видовые (табл. 2). Видовыми являются всего две ООПТ (заказники «Моркинский» и «Емешевский»), однако их площадь составляет более 40 % от общей площади ООПТ. Комплексные ООПТ представлены исключительно болотными массивами с площадью от 26 до 4988 га. Заказник лесомелиоративного профиля создан на осушенном в 1912 году болоте Лебедань с целью сохранения уникального для средней полосы России высокопроизводительного древостоя. Очень малую площадь занимают ООПТ ботанического и геологического профиля (Кедровая роща, Лиственничная роща, Карман Курык). Наибольшую площадь среди памятников природы имеют ООПТ, расположенные на болотах. Так, к примеру, Куплангское Болото занимает 4,9 тыс. га, а Карасьяр – 1,6 тыс. га.

Т а б л и ц а 2

Распределение площадей ООПТ по профилю

Категория ООПТ	Площадь ООПТ по их профилю, га							
	ком-плексный	видовой	биологи-ческий	лесоме-лиора-тивный	гидроло-гический	зоологи-ческий	ботани-ческий	геологи-ческий
Заказники	1856,0	15300,0	3742,3	1661,0	-	-	-	-
Памятники природы	14130,0	0	0	0	574,4	104,0	90,2	36,0
Всего, га	15986,0	15300,0	3742,3	1661,0	574,4	104,0	90,2	36,0
%	<b>42,6</b>	<b>40,8</b>	<b>10,0</b>	<b>4,4</b>	<b>1,5</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,1</b>

В структуре земель ООПТ доминирующее положение занимают покрытые лесом территории (табл. 3). На втором месте находятся болота (37,7 %), преимущественно верхового типа, а замыкают ранговый ряд водные объекты, в площадь которых включены только узкие прибрежные полосы возле рек Шуйка и Ирека, которые не обеспечивают надлежащего режима их охраны. На землях сельскохозяйственного назначения расположен только заказник «Емешевский», предназначенный для сохранения популяции сурка. Специализированных исследований почвенного покрова на ООПТ не проводилось, однако по имеющимся литературным данным [2–5] и по их приуроченности к определенным геоморфологическим районам можно представить общую картину. На ООПТ, занятых лесной растительностью, особенно в пределах Марийского Полесья, преобладающими являются дерново-подзолистые почвы. На ООПТ, приуроченных к болотным массивам, распространены торфяно-подзолисто-глеевые почвы либо торфяники, а на ООПТ правобережья – светло-серые лесостепные оподзоленные суглинки с пятнами серых лесных почв [2].

Т а б л и ц а 3

Распределение площадей ООПТ по категориям земель

Категория земель ООПТ, га / %				Всего, га / доля от общей площади ООПТ, %
Земли лесного фонда			Земли сельскохозяйственного назначения	
покрытые лесом	болота	воды		
16885,5	14130,0	678,4	5800	37493,9
45,1	37,7	1,8	15,5	100

Возраст существующих объектов системы ООПТ в РМЭ в основном небольшой. Самым старым из них чуть больше 30 лет (заказник «Лебедань»), а самым молодым нет еще и 10 (заказники «Моркинский», «Каменная Гора» и «Холодный Ключ»). Наибольшее количество памятников природы было образовано в 1987 году – 26. Интересно отметить, что в период с 1997 года по настоящее время не было организовано ни одной ООПТ, однако было закрыто пять заказников («Усть-Кундышский», «Васильсурские дубравы», «Полевой», «Кумьинский» и «Пекшеевский») в связи с истечением срока действия их функционирования.

Наиболее представлена сеть ООПТ природа района Марийского Полесья (рис. 1), в пределах которого находятся три заказника (5280 га) и 26 памятников природы (14676,9 га). Меньше всего ООПТ находится на территории Оршанско-Кокшагской флювиогляциальной равнины и Мари-Турекского плато. Слабо развита сеть ООПТ также в пределах Марийско-Вятского Увала, хотя природа этих районов имеет много достопримечательностей и объектов с интересной историей их формирования. Так, к примеру, на Сотнурской возвышенности, в долине р. Илеть и в районе Мари-Турекского плато имеются древние контрастные формы рельефа, которые создали условия для формирования уникальной растительности (здесь произрастает значительное количество видов растений, занесенных в Красную книгу РМЭ [6, 7]: 20 видов для Сотнурской возвышенности и 24 вида для Мари-Турекского плато). Очень мало ООПТ в Восточном, Оршанско-Кокшагском, Южном и Юго-Западном природных районах. Полностью отсутствуют ООПТ в Северо-Восточном районе, хотя он имеет свои достопримечательности.

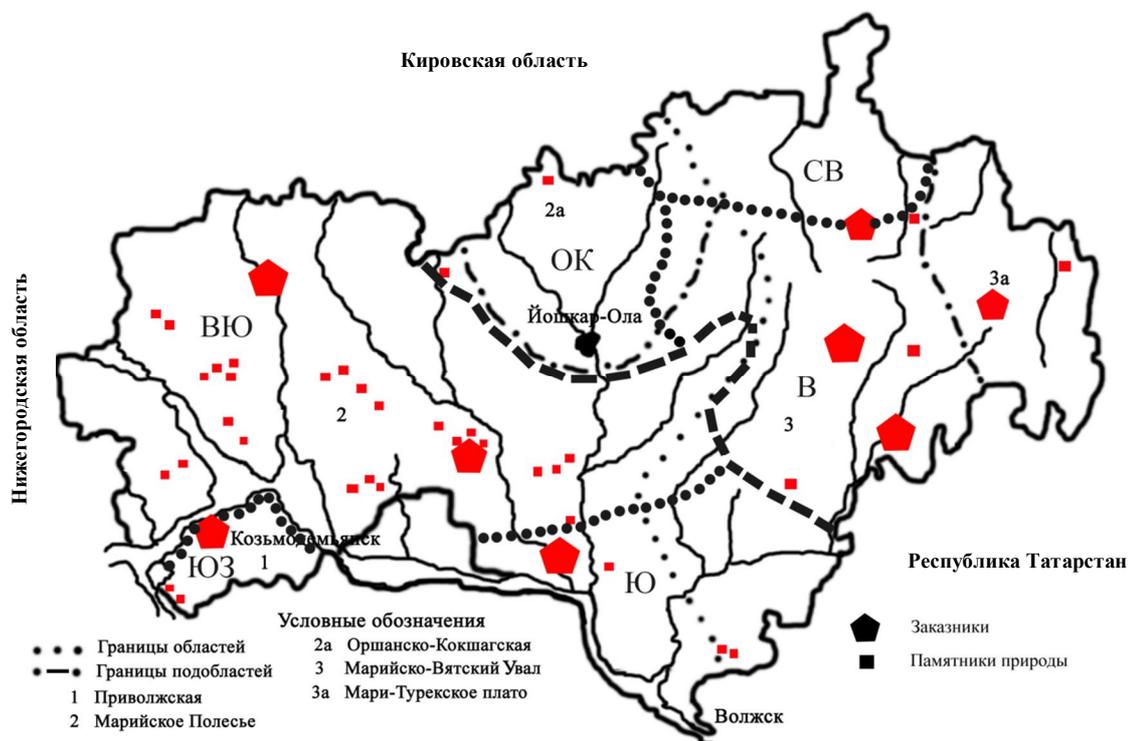


Рис. 1. Карта-схема размещения ООПТ в пределах геоморфологических районов [8] и природного районирования РМЭ. Жирной пунктирной линией обозначена граница между ботанико-географическими провинциями и округами [9], жирным точечным пунктиром – между природными районами [10] (ВЮ – Ветлужско-Юшутский природный район, ЮЗ – Юго-Западный, ОК – Оршанско-Кокшагский, СВ – Северо-Восточный, Ю – Южный, В – Восточный)

Распределение ООПТ в пределах муниципальных районов как по количеству, так и по их площади также неоднородное. Наибольшая площадь ООПТ сконцентрирована в Моркинском, Горномарийском и Килемарском районах (табл. 4). Незначительна площадь ООПТ в Медведевском, Сернурском, Параньгинском, Волжском и Куженерском районах, а отсутствуют они в Новоторъяльском и Советском. В целом ООПТ отражают особенности природы муниципальных районов. Так, в Юринском районе, богатым верховыми болотами, доминируют ООПТ, занятые болотами (табл. 5). Горномарийский район, охватывающий правобережье и часть левобережья республики, также имеет ООПТ, отражающие основные его природные особенности. Имеются и противоположные случаи. Так, в Волжском районе ООПТ представлены исключительно болотными массивами, хотя площадь таковых здесь незначительна.

Т а б л и ц а 4

## Структура ООПТ республиканского значения РМЭ по состоянию на 01.08.2008 г.

Район	Площадь района, тыс. км <sup>2</sup>	Кол-во ООПТ, шт.	Площадь ООПТ, га			Население, тыс. чел *	Плотность населения, чел/км <sup>2</sup> *	Доля ООПТ от общей площади района
			общая	заказников	памятников природы			
Юринский	2,04	5	1824,2	-	1824,2	9,9	4,9	0,89
Горномарийский	1,97	8	10115,1	5800,0	4315,1	49,2 **	25,0	5,13
Медведевский	2,79	3	922,0	-	922,0	327,0 **	110,1	0,33
Килемарский	3,1	8	9991,1	3419,0	6572,1	13,0	4,2	3,22
Сернурский	1,03	1	5,1	-	5,1	24,8	24,1	0,005
Мари-Турекский	1,51	2	163,3	123,3	40,0	23,4	15,4	0,11
Звениговский	2,75	9	2915,9	1861	1054,9	57,4 **	20,9	1,06
Параньгинский	0,79	1	48,0	-	48,0	17,2	21,7	0,06
Волжский	0,91	2	66,0	-	66,0	80,1 **	88,0	0,07
Куженерский	0,85	2	587,0	562,0	25,0	16,1	18,9	0,69
Оршанский	0,9	1	26,2	-	26,2	15,3	17,1	0,03
Моркинский	2,27	3***	10830,0	10794,0	36,0	33,0	14,5	4,77
Новоторъяльский	0,92	-	-	-	-	16,5	17,9	-
Советский	1,39	-	-	-	-	29,4	21,1	-
Всего	23,22	45	37493,9	22559,3	14934,6	712,3		

**Примечание:** \*данные по состоянию на 01.01.2009 [11]; \*\*население района приводится вместе с городским; \*\*\*с учетом того, что заказник «Моркинский» находится на землях Моркинского района.

Каждый муниципальный район характеризуется не только природными особенностями, но и плотностью населения, активно использующего ООПТ в рекреационных целях, что отрицательно сказывается на их состоянии. Наиболее густонаселенные Медведевский и Волжский районы с высокой плотностью населения имеют ООПТ, доля которых составляет всего лишь 0,33 и 0,07 % от общей площади районов. В то же время в Горномарийском и Моркинском районах, имеющих низкую плотность населения, доля ООПТ значительна (5,1 и 4,77 % соответственно).

Т а б л и ц а 5

## Распределение площадей ООПТ РМЭ в пределах муниципальных районов по категориям земель

Район	Категория земель ООПТ, га / %				Всего по району, га / доля от общей площади ООПТ
	Болота	Водная поверхность	Земли, занятые лесом	Земли сельхоз-назначения	
Юринский	1808,0 / 99,1	16,2 / 0,9	-	-	1824,2 / 4,86
Горномарийский	4244,0 / 42,0	59,7 / 0,6	11,4 / 0,1	5800,0 / 57,3	10115,1 / 26,99
Медведевский	848,0 / 92	74,0 / 8	-	-	922,0 / 2,47
Килемарский	6268,0 / 62,7	303,4 / 3,0	3419,7 / 34,3	-	9991,1 / 26,7
Сернурский	-	-	5,1 / 100	-	5,1 / 0,01
Мари-Турекский	-	40,0 / 25,0	123,3 / 75,0	-	163,3 / 0,44
Звениговский	896,0 / 30,7	158,9 / 5,5	1861,0 / 63,8	-	2915,9 / 7,78
Параньгинский	-	-	48,0 / 100	-	48,0 / 0,1
Волжский	66,0 / 100	-	-	-	66,0 / 0,19
Куженерский	-	-	587,0 / 100	-	587,0 / 1,55
Оршанский	-	26,2 / 100	-	-	26,2 / 0,07
Моркинский	-	-	10830,0 / 100	-	10830,0 / 28,9
Итого	14130,0 / 37,7	658,4 / 1,8	16885,5 / 45,1	5800 / 15,5	37493,9 / 100

Таким образом, анализ структуры и пространственного размещения ООПТ по территории республики выявил крайне неравномерное и бессистемное их расположение, на это указывал еще Н. В. Абрамов [10]. Многие уникальные природно-территориальные комплексы, которые должны бы войти в систему ООПТ на основе их высокой значимости для республики в экологическом, научном, культурном и эстетическом отношении, не имеют пока такого статуса.

Государственное управление в области организации и функционирования ООПТ республиканского значения осуществляет Департамент экологической безопасности, природопользования и защиты населения РМЭ. Однако для непосредственного осуществления природоохранных мероприятий и контроля за соблюдением режима ООПТ необходимо создание государственного учреждения – дирекции ООПТ.

Режим ООПТ республиканского значения не отличается строгостью. На их территориях разрешено проведение различных видов деятельности, не противоречащей их целевой функции, специфичной для каждой ООПТ в зависимости от ее статуса, характера и состояния.

При проведении обследования установлено, что у большинства памятников природы отсутствовали паспорта и охранные обязательства. Только четыре памятника природы (Роща лиственницы сибирской, озера Кумьяры, Тыр-болото и Мадарские болота) их имели, однако данные документы устарели в связи с изменением законодательства и сменой лесопользователей. Отмечены также частые факты нарушения режима ООПТ, указанного в их Положениях. Так, в частности, в гидрологических ООПТ (озера Таир, Малый Мартын и Нужьяр, реки Шуйка и Ирека) застройки и огороды часто примыкают вплотную к урезу воды, что является прямым нарушением Водного кодекса. На озерах Большое, Шидьяр, Большой Марьер и др. были обнаружены рыболовные сети, что запрещено не только положением о памятнике природы, но и Правилами любительского и спортивного рыболовства.

С передачей в аренду лесов в 2006 году и введением нового Лесного кодекса был потерян контроль над лесами со стороны государства. Это повлекло за собой резкое ухудшение ситуации и на ООПТ, расположенных на территории лесного фонда. Так, полностью утратил свой первоначальный облик памятник природы «Эталонные насаж-

дения ели» в Куженерском районе из-за выборочных рубок высокой интенсивности. Древостой потерял статус эталонного. Болото Карасьяр также подверглось масштабной вырубке. Сплошные рубки с нарушениями обязательных требований проводятся также в заказнике «Моркинский». Случаи рубки единичных деревьев отмечены повсеместно, но особенно на ООПТ, расположенных в малолесных районах: в заказниках «Горное Заделье», «Каменная Гора» и «Холодный Ключ».

Контролю за режимом ООПТ серьезно препятствует отсутствие четких границ в природе. Этому способствует сложная конфигурация некоторых охраняемых территорий, особенно болотных массивов и озер, поэтому необходима оптимизация границ, которая бы обеспечивала их визуальное отделение от остальных земель.

ООПТ в полной мере могут выполнять свои целевые функции лишь в том случае, если на них будет проводиться должная научно-исследовательская деятельность, которая должна иметь систематический, а не отрывочный характер. Ее ведение позволит оптимизировать систему природопользования на ООПТ. Научные исследования должны проводиться по специально разработанной программе под руководством координирующего центра.

Установлено, что единая база, хранящая данные о научных исследованиях на ООПТ, отсутствует. Во-первых, это связано с отсутствием государственного учреждения в республике, ответственного за накопление и хранение данных. Во-вторых, результаты исследований находятся в различных источниках, что затрудняет их поиск и работу с ними. В-третьих, природа ООПТ изучена крайне слабо. Имеется сравнительно немного публикаций, отражающих природные особенности ООПТ.

ООПТ являются местом активного рекреационного использования, в связи с этим они должны быть соответствующим образом обустроены. Однако нами установлено отсутствие должного обустройства их территории, что зачастую приводит к деградации ландшафтов, выражающейся в уничтожении живого напочвенного покрова, снижении санитарного состояния древостоев, уничтожении деревьев и др. Важной проблемой на ООПТ также является неконтролируемый поток отдыхающих, в некоторых случаях превышающий их рекреационный потенциал.

Таким образом, качество осуществления природоохранных мероприятий и ведение контроля за соблюдением режима ООПТ в РМЭ находятся на низком уровне. В первую очередь это связано с отсутствием государственного учреждения, ответственного за ведение деятельности на ООПТ, как это имеет место в заповедниках и национальных парках. В соседних республиках (Чувашия и Татарстан) при Министерстве экологии созданы дирекции ООПТ, успешно справляющиеся с поставленными задачами.

В ходе обследования ООПТ нами было сделано заключение о целесообразности снятия статуса памятника природы с некоторых объектов. Это обусловлено тем, что природа одних оказалась очень сильно изменена деятельностью человека (памятники природы «Озеро Таир», «Эталонные насаждения ели», «Болото Криуль», «Болото Березовое» и др.), и они не могут выполнять свои целевые функции. Другие, в силу высокой представленности схожих природных условий, не представляют ценности и лишь отвлекают время и средства на поддержание своего статуса. Данные меры приведут к снижению площади ООПТ, однако этого можно избежать, включив в их число новые участки, соответствующие критериям ООПТ в силу своих природных особенностей. Только в ходе двухлетней работы по изучению состояния популяций редких видов растений нами было обнаружено и обследовано 28 объектов, на базе которых можно организовать ООПТ ботанического, гидрологического или комплексного профиля.

*Памятник природы «Болото Криуль»* создан с целью охраны мест гнездования чер-

ного аиста [12]. Однако при осмотре объекта установлено отсутствие пригодных для гнездования крупных деревьев с хорошо развитой кроной.

*Памятник природы «Реликтовые леса».* Установлено, что два из трех его кластеров не представляют ценности. Древостои сосны первого кластера ничем не отличаются от таковых, произрастающих в пределах Марийской низменности, они не обладают выдающимися таксационными показателями. Березнякам (второй кластер) более подходит роль паркового леса, нежели статус памятника природы. Статус ООПТ следует оставить за кедровой посадкой (третий кластер). Здесь обнаружен вид, занесенный в Красную книгу РМЭ – зеленчук желтый. Сам по себе факт успешного выращивания кедра сибирского за пределами своего ареала с возможностью естественного возобновления уже заслуживает пристального внимания. Следует изменить название этого ООПТ, которое искажает точность понимания термина «реликт».

*Памятник природы «Озеро Таир».* Рекомендуем исключить его из списка памятников природы по причине застройки береговой линии озера различными зданиями и сооружениями, а также большой рекреационной нагрузки.

*Заказник «Лебедань».* В настоящее время возникает вопрос о целесообразности поддержания статуса заказника, поскольку осушительная сеть, ремонт которой должен был проводиться регулярно, не действует. Это привело к вторичному заболачиванию территории. Необходимо провести изыскательские работы по оценке современного состояния осушительной сети и фитоценозов, разработать рекомендации по дальнейшему использованию данной территории.

Наиболее представленными природными комплексами в системе ООПТ республики являются массивы верховых болот, причем многие из них дублируют условия друг друга и зачастую не отвечают тем требованиям, которые предъявляются к объекту для придания ему статуса ООПТ. Это типичные для Марийского Полесья сосняки сфагновые, многие из которых пройдены пожарами 1972 года. Есть, конечно, среди них и уникальные болотные массивы: Болото Большое, Куплангское Болото, Болото Шидыяр, (Болото Волчье), с редкими видами растений, со сплавиной вокруг озер, возраст которой может насчитывать не одну тысячу лет.

Незначительно представлены в системе ООПТ РМЭ водные объекты. Территория республики насчитывает 476 крупных и малых рек общей протяженностью более 7 тыс. км, 700 озер площадью 2752 га. И среди них вполне можно найти претендентов на статус ООПТ. Например, озеро Соленое, которое относится к уникальным для Среднего Поволжья водным объектам, так как является стратифицированным полигалинным озером, возрастом около 10 тыс. лет [13]. Здесь произрастает реликтовое растение – наядка большая, занесенная в Красную книгу РМЭ. В водоохранной зоне обнаружены охраняемые растения – баранец обыкновенный, осока заливная и лишайник рамалина притупленная. По берегам произрастают редкие для внутренних водоемов республики клубнекамыш морской и камыш Табернемонтана.

В перечне ООПТ не представлены низинные болота, площадь которых только в пределах промышленной залежи в республике составляет более 35 тыс. га [14]. Известно, что низинные болота являются местообитаниями редких для нашего края сообществ (березово-ивово-гипновых и осоко-гипновых) и растений, занесенных в Красную книгу РМЭ и РФ. Статус памятника природы можно присвоить низинному болоту Пошкит-Куп, расположенному на древней долине р. Волга близ с. Арды Килемарского района. Здесь произрастают дремлик болотный, лосняк Лезеля, мякотница однолистная, ладьян трехнадрезный, мытник скипетровидный, пальчатокоренники Траунштейнера и балтийский, тайник сердцелистный – представители Красной книги РМЭ [6].

В существующей системе ООПТ не нашлось места южным и юго-западным остепненным участкам коренных склонов речных долин, встречающимся в юго-восточной части республики. Такие участки, небольшие по площади, встречаются в Мари-Турекском районе по рекам Ноля, Сарда, Арборка, Антышка, Ашланка; в Моркинском районе по р. Кужмара (близ д. Новая); в Волжском районе по р. Петьялка [7]. Уникальность и своеобразие этих склонов по рекам Ноля, Ашланка и Кужмара (близ д. Новая), как мест произрастания редких степных видов, была отмечена еще в начале прошлого века [15]. Склоны долин являются местообитанием более 15 видов редких растений, занесенных в Красную книгу РМЭ. Кроме того здесь на некоторых склонах обнаружены южные степные и лесостепные виды – шалфеи сухостепной и мутовчатый, зопник клубненосный, мордовник шароголовый, жостер слабительный, чина гороховидная, горошки гороховидный и тонколистный, астрагалы солодколистный и нутовый и др.

Не взят под охрану на территории Марий Эл ни один участок остепненных сосняков, находящихся здесь на северной границе распространения. Наиболее интересный участок такого сосняка располагается между р. М. Кундыш и п. Силикатный. Здесь на сухих борах распространены в основном сосняки овсяницевого, сосняки остепненные. Эти сосняки богаты по видовому составу. С высоким проективным покрытием встречаются южные по происхождению растения и псаммофиты (песколюбые). Из редких видов растений, занесенных в Красную книгу РМЭ, здесь произрастают гвоздики Крылова и пышная, неоттианта клубучковая и цмин песчаный. На дне заброшенного песчаного карьера обнаружен дремлик болотный, по берегу реки – шиповник иглистый. Свообразна и интересна здесь фауна насекомых: махаон, аполлон, подалирий [16], огневка трескучая, кобылка голубокрылая, трещетка ширококрылая, а также пауки – тарантул и эрезус киноварнокрасный и др.

Считаем целесообразным восстановить заказник *Васильсурские дубравы* в Горномарийском районе (Правобережье р. Волги), так как он имеет большую природоохранную ценность, обусловленную следующими специфическими моментами [17]: яшень обыкновенный достигает здесь северо-восточного предела ареала; только в этом пункте РМЭ в естественном состоянии под лесом сохранились богатые лесостепные суглинки; здесь имеются удачные культуры лиственницы, кедра сибирского (памятник природы Кедровая роща 1910 г.) и сосны обыкновенной на лесостепных суглинках; большой интерес представляет пойма р. Сура, а также водная фауна.

Из более чем 630 видов растений, обитающих здесь, 22 вида являются редкими и включены в Красную книгу растений РМЭ [6]. Из 51 вида животных, обитающих на территории бывшего заказника «Васильсурские дубравы», в Красную книгу РМЭ включены два вида рыб, один вид земноводных, 34 вида птиц и 14 видов беспозвоночных. На целесообразность создания ООПТ в этом районе указывал и А. К. Денисов [18], подчеркивая, что этот участок наилучшим образом подходит для сохранения старой дубравы по берегу р. Сура.

Таким образом, на наш взгляд, необходимо создать государственное учреждение, ответственное за проведение природоохранных мероприятий и контроль над соблюдением режима ООПТ, оптимизировать существующую сеть ООПТ и довести ее долю до 10–15 % от общей площади республики с учетом ООПТ федерального подчинения. Выбор перечня ООПТ может быть проведен только путем экспертной оценки, которая должна включать три этапа:

1) независимые обоснования специалистов, хорошо знающих разные стороны природы РМЭ, и сводка экспертных оценок, создание проекта перечня ООПТ;

- 2) независимые рецензии проекта перечня ООПТ РМЭ;
- 3) подготовка окончательной редакции проекта перечня ООПТ РМЭ.

Одним из вариантов развития и расширения сети ООПТ республиканского значения РМЭ является Схема территориального планирования Республики Марий Эл [19]. В ней указывается, что для совершенствования системы ключевых территорий экологического каркаса, наряду с существующими ООПТ, необходимо создание дополнительных экологических ядер: ранее существовавших заказников «Васильсурские дубравы», «Устье-Кундышский», «Заволжский», «Большой Марьерский» и расширение территории заказника «Горное Заделье». В целом можно согласиться с рекомендуемыми мероприятиями, однако необходимо учитывать специфику и современное состояние существующих ООПТ, что, на наш взгляд, не сделано в Схеме.

Такая политика проводится во многих областях и республиках РФ. Это повлечет ужесточение статуса на значительной территории, однако повысит качество управления лесами. Как отмечает А. И. Писаренко [20], в настоящее время в число наиболее распространенных способов управления лесами, обеспечивающих сохранение биосферных свойств лесов и возможность предоставления им экологических сервисов, входит создание охраняемых территорий и проведение дружественной лесным экосистемам «зеленой» политики государственного регулирования лесопользования.

#### **Выводы**

1. По состоянию на 1 января 2011 года в Марий Эл доля ООПТ республиканского подчинения составляет 39,1 % (37493,9 га) от общей площади всех ООПТ, и 2,0 % от площади РМЭ. Она включает восемь заказников и 38 памятников природы, которые расположены в пределах семи районов. Наибольшую долю (60 %) по площади занимают заказники.

2. Более 80 % территории приходится на комплексные и видовые ООПТ, незначительные площади – на геологический и ботанический профиль. Видовыми являются лишь две ООПТ с суммарной площадью более 40 % от общей площади ООПТ. Комплексные памятники природы представлены исключительно болотными массивами. Наибольшую площадь из памятников природы имеют болотные массивы (Болото Куплангское и Карасьяр), наименьшую – ботанические и гидрологические объекты.

3. В структуре земель ООПТ исключительное доминирующее положение занимают земли лесного фонда: территории, покрытые лесом (45,1 %), и болота (37,7 %), преимущественно верховые, незначительную площадь имеют земли сельскохозяйственного назначения (заказник «Емешевский») и водные объекты.

4. Возраст существующих объектов системы ООПТ в РМЭ небольшой. Самым старым из них чуть больше 30 лет, а самым молодым нет еще и 10. Наибольшее количество памятников природы было образовано в 1987 году – 26. В период с 1997 года по настоящее время не было организовано ни одной ООПТ, однако было закрыто пять заказников.

5. Наиболее представлена сеть ООПТ природа района Марийского Полесья, в пределах которого находятся три заказника и 26 памятников природы. Меньше всего ООПТ на территории Оршанско-Кокшагской флювиогляциальной равнины и Мари-Турекского плато. Слабо развита сеть ООПТ также в пределах Марийско-Вятского Увала. Очень мало ООПТ в Восточном, Оршанско-Кокшагском, Южном и Юго-Западном природных районах. Полностью отсутствуют ООПТ в Северо-Восточном районе.

6. Распределение ООПТ в пределах муниципальных районов как по количеству, так и по их площади неоднородное. Наибольшая площадь ООПТ сконцентрирована в Мор-

кинском, Горномарийском и Килемарском районах. Незначительна площадь ООПТ в Медведевском, Сернурском, Параньгинском, Волжском и Куженерском районах, а отсутствуют они в Новоторьяльском и Советском. В целом ООПТ отражают особенности природы муниципальных районов.

7. Степень изученности природных комплексов ООПТ остается крайне слабой. Наиболее детально обследованными оказались озерные комплексы, однако изыскательские работы были проведены еще в 20-х годах XX столетия и на сегодняшний день нуждаются в уточнении. По остальным объектам имеются лишь единичные отрывочные данные, не позволяющие судить об их состоянии в целом и делать какие-либо оценки.

### Список литературы

1. Особо охраняемые природные территории Республики Марий Эл: информационный справочник / ОФЭИ Республики Марий Эл; под общ. ред. А.Н. Носкова. – Йошкар-Ола, 2008. – 130 с.
2. Смирнов, В. Н. Почвы Марийской АССР, их свойства и мероприятия по их улучшению / В. Н. Смирнов. – Йошкар-Ола: Марийское книжное изд-во, 1953. – 224 с.
3. Газизуллин, А. Х. Буроземообразование и псевдоподзоливание в почвах лесов Среднего Поволжья и Предуралья / А.Х. Газизуллин, А.Т. Сабиров. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1997. – 204 с.
4. Нуреев, Н.Б. Продуктивность древостоев основных лесообразующих пород области Вятского Увала в зависимости от почвенно-грунтовых условий: автореф. дис. ... канд. биолог. наук: 03.00.32 / Нуреев Наиль Билалович. – Йошкар-Ола, 2002. – 24 с.
5. Туев, А. С. Продуктивность древостоев основных лесообразующих пород Мари-Турекского плато в зависимости от почвенно-экологических условий: автореф. дис. ... канд. биолог. наук: 03.00.32 / Туев Андрей Сергеевич. – Йошкар-Ола, 2002. – 24 с.
6. Красная книга Республики Марий Эл. Редкие и нуждающиеся в охране растения марийской флоры / Сост. Н.В. Абрамов; под. ред. В.Н. Тихомирова. – Йошкар-Ола: Марийское книжное изд-во, 1997. – 128 с.
7. Богданов, Г. А. Ценопопуляции видов Красной книги РМЭ (растения) / Г.А. Богданов, Н.В. Абрамов. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2009. – Ч.1. – 292 с.
8. Севастьянова, Л. И. Роль рельефа и поверхностных отложений в хозяйственном освоении территории Марий Эл: автореф. дис. ... канд. географ. наук: 11.00.04 / Севастьянова Лидия Ивановна. – Казань, 2000. – 23 с.
9. Федоров, А. Н. Фитохории Европейской части СССР / А. Н. Федоров // Флора Европейской части СССР. – Л.: Наука, 1979. – Т. IV. – С. 10-27.
10. Абрамов, Н. В. Флора Республики Марий Эл: инвентаризация, районирование, охрана и проблемы рационального использования ее ресурсов: науч. изд. / Н.В. Абрамов. – Йошкар-Ола: Марийск. гос. ун-т., 2000. – 164 с.
11. Основные показатели социально-экономического положения муниципальных районов и городских округов Республики Марий Эл URL: <http://maristat.mari.ru/RME/rme.htm> Свободный доступ (дата обращения: 11.04.2012).
12. Красная книга Российской Федерации. Животные. – М.: АСТ Астрель, 2001. – С. 613-614.
13. Физико-химические исследования водных объектов заповедника «Большая Кокшага» / Н.М. Мингазова [и др.] // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2009. – Вып. 4. – С. 189-212. О памятниках природы республиканского значения Республики Марий Эл: пост. Пр-ва РМЭ от 14.07.2008 г. № 182 [Электронный ресурс] URL: <http://zakonprost.ru/content/regional/38/1402524/> (дата обращения: 11.02.2012).
14. Куликова, Г. Г. Охрана и рациональное использование болот в Республике Марий Эл / Г.Г. Куликова, А.В. Кусакин // Заповедное дело. – 1999. – Вып. 4. – С. 104-115.
15. Васильков, Б. П. К истории флоры Марийской области / Б.П. Васильков // Журнал МАО. – Йошкар-Ола: МарНИИ. – 1933. – № 11-12. – С. 1-19 (от. отгиск).
16. Красная книга Республики Марий Эл. Редкие и исчезающие виды животных / Автор-составитель Х.Ф. Балдаев. – Йошкар-Ола: Изд. Марийского полиграфкомбината, 2002. – 164 с.
17. Алимбек, Б. М. Васильсурские дубравы / Б.М. Алимбек // Охрана и обогащение природы Марийской АССР. – Йошкар-Ола: Марийское книжное изд-во, 1967. – С. 80-89.
18. Денисов, А. К. Дубравы – памятники природы МАССР / А.К. Денисов // Памятники природы Марийской республики. – Йошкар-Ола: Марийское книжное изд-во, 1989. – С. 29-31.

19. Постановление правительства Республики Марий Эл от 04.07.2008 № 173 Об утверждении Схемы территориального планирования Республики Марий Эл (вместе с «Перечнем мероприятий по территориальному планированию и последовательность их выполнения»). URL: <http://www.regionz.ru/index.php?ds=121571> Свободный доступ (дата обращения: 11.02.2012).

20. Писаренко, А. И. Нравственный кризис управления лесами / А. И. Писаренко // Лесное хозяйство. – 2011. – №1. – С. 2-6.

Статья поступила в редакцию 06.03.12.

Авторы выражают глубокую благодарность доктору биологических наук, профессору МарГУ Н. В. Глотову, доктору биологических наук, профессору МарГТУ Ю. П. Демакову и начальнику отдела экологии и природопользования Департамента экологической безопасности, природопользования и защиты населения РМЭ Г. А. Протасовой за ценные замечания и консультации.

*A. V. Isaev, G. A. Bogdanov*

#### PRESENT-DAY SITUATION IN THE NATURAL AREAS UNDER SPECIAL PROTECTION IN THE REPUBLIC OF MARI EL

*The results of the analysis of the present-day situation in the natural areas under special protection in the Republic of Mari El are presented. A particular attention is paid to the territory of republican subordination, some advice for its improvement are given.*

**Key words:** *natural areas under special protection, natural monuments, wildlife preserves.*

---

*ИСАЕВ Александр Викторович* – кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе ГПЗ «Большая Кокшага». Область научных интересов – экология пойменных земель: изучение почвенного покрова, строения и динамики пойменных фитоценозов. Автор более 30 публикаций, в том числе одной монографии.

E-mail: [nauka\\_gpz@yolamail.ru](mailto:nauka_gpz@yolamail.ru)

*БОГДАНОВ Геннадий Алексеевич* – старший научный сотрудник ГПЗ «Большая Кокшага». Область научных интересов – ботаника, флористика. Автор 35 публикаций, в том числе двух монографий.

E-mail: [nauka\\_gpz@yolamail.ru](mailto:nauka_gpz@yolamail.ru)

УДК 582.794.2 (470.343)

**Н. А. Разумников**, **В. И. Таланцев**, **И. Н. Разумников**

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ БИОМАССЫ ЛИСТЬЕВ ЭЛЕУТЕРОКОККА КОЛЮЧЕГО И СОДЕРЖАНИЯ В НИХ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ

Выявлена изменчивость биомассы листьев интродукционной культуры элеутерококка колючего, зависящая от высоты растений, числа скелетных осей (стволиков), количества листьев в кусте, принадлежности к морфологической группе и влажности самих листьев. Установлено, что доля влияния высоты куста и числа стволиков в нем при аддитивном воздействии составляет 82,5 %. Представлены данные содержания микроэлементов в органах растений, на основе которых установлены оптимальные сроки заготовки листьев элеутерококка колючего в качестве пищевого и лекарственного сырья.

**Ключевые слова:** элеутерококк колючий, биомасса, микроэлементы.

**Введение.** Элеутерококк колючий *Eleutherococcus sesMcosus* (Rupr. et Maxim.) Maxim. содержит в корнях, корневищах, побегах и листьях гликозиды и другие биологически активные вещества [1–6], однако в официальной медицине находят применение преимущественно корневища и корни [7, 8]. Запасы подземных органов элеутерококка колючего в естественном ареале находятся в прямой зависимости от количества и высоты стеблей, а также его биомассы, на значение которых значительное влияние оказывает степень освещенности [9–12]. Рост спроса на недревесные ресурсы леса обуславливает необходимость разработки нормативов, обеспечивающих неистощительность их пользования и качество сырья. В частности, для элеутерококка необходимо определить параметры неистощительного изъятия ресурсов корней, стеблей и листьев [13].

Известно, что микроэлементы (бор, марганец, цинк, медь, молибден и др.) участвуют в физиологических процессах растений, оказывая влияние на их морозостойкость и засухоустойчивость, способствуя их интродукции и акклиматизации [14]. В связи с этим интерес к изучению содержания микроэлементов в органах элеутерококка колючего имеет ряд важных аспектов: для выявления физиологической роли в организме; в связи с различиями почвенных условий естественного ареала и региона интродукции и выявления поглощающей способности подземных органов; закономерностях их накопления в органах растения; влиянии на устойчивость растения к неблагоприятным факторам среды и т.п.

**Цель** исследования – выявление в условиях интродукции закономерностей накопления биомассы листьев элеутерококка колючего и содержания в них микроэлементов.

**Решаемые задачи:** 1) выявление изменчивости биомассы листьев элеутерококка колючего в условиях интродукции; 2) установление причин, обуславливающих изменчивость морфометрических параметров и физиологического состояния листьев культур элеутерококка колючего; 3) определение содержания микроэлементов в органах растений элеутерококка колючего и почвенных образцах.

**Объекты и методика исследований.** Объектами исследований служили интродукционные культуры элеутерококка колючего, произрастающие на территории Ботанического сада-института Марийского государственного технического университета: 16–17-летние растения, выращенные из семян местной репродукции, на экспериментальной семенной плантации элеутерококка колючего (ЭСПЭК) и 18-летние растения, привезенные из Главного ботанического сада РАН (г. Москва), в дендрарии. Почва на участках произрастания растений дерново-сильноподзолистая среднесуглинистая на покровных суглинках. Лесной участок характеризуется лесорастительными условиями свежей сурамени.

Зелёные листья элеутерококка заготавливали в фазе начала цветения (9 июля 2010 года) и до начала осеннего расцветивания листьев (2 сентября 2009 и 1 сентября 2010 года), а средние образцы побегов – 2 сентября 2009 года. Биомассу листьев (на примере 10 растений) вычисляли как произведение их количества в кусте, определенно-го их поштучным подсчетом, на среднюю массу листа с черешком. Среднюю массу листа с черешком определяли для каждого учетного растения в фазе начала цветения и до начала осеннего расцветивания листьев; в каждом случае выборка включала 13–15 штук со всех частей кроны. Всего изучено 26 растений. Потерю влаги листьями определяли высушиванием их до воздушно-сухого состояния при температуре окружающей среды 20–22 °С. Определение золы в исследуемых образцах проводили по [15, с. 24]. Содержание металлов в органах элеутерококка колючего и корнеобитаемом слое почвы устанавливали на атомно-абсорбционном спектрометре AAnalyst 400 «Perkin Elmer (USA)» [16]. Смешанный образец почвы для анализа микроэлементного состава получен взятием с пяти точек на ЭСПЕК на глубину залегания корневищ и корней (до 20 см). Подготовку образцов для анализа на содержание микроэлементов осуществляли по [17].

**Результаты исследований.** Анализ исходного материала показал, что количество листьев в кусте элеутерококка колючего, их биомасса и влажность характеризуются очень большой изменчивостью, а высота растений – наименьшей (табл. 1).

С учетом большого размаха параметров, характеризующих морфометрические показатели листьев элеутерококка колючего, были проанализированы значения в зависимости от условий произрастания, в частности от удаленности растений от стены леса. Подобный анализ основывался на ранее установленной достоверной корреляционной связи между удалённостью растений от стены леса с южной и западной сторон и соответственно высотой кустов ( $r = 0,62$ ) и количеством скелетных осей (стволиков) в кусте ( $r = 0,57$ ), причем, фактором, существенно влияющим на рост и продуктивность кустов, явилась обеспеченность световым довольствием, доля влияния которой составила 32 % [18].

Т а б л и ц а 1

**Значения показателей изменчивости параметров элеутерококка колючего в условиях интродукции**

Параметры	Значения статистических показателей				
	$M_x \pm m_x$	min	max	размах	V, %
Воздушно-сухая масса листьев в кусте, г	521±120,1	94	1054	960	72,8
Количество листьев в кусте, шт.	687±157,9	189	1756	1567	72,7
Сырая масса листьев в кусте, г	1831±372	473	3478	3005	64,2
Влагосодержание воздушно-сухого образца листьев, %*	294±27,6	216	481	265	29,6
Средняя масса листа, г	0,7±0,1	0,5	1,1	0,6	31,9
Количество стволиков в кусте, шт.**	10±1,4	5	21	16	44,9
Высота растения, м	2,7±0,1	1,6	3,2	1,6	16,1

**Примечание:** \* отношение содержания влаги в листьях к массе воздушно-сухих листьев; \*\* в учет брали многолетние побеги (стволики), включая корневые отпрыски, выше 1 м.

Обобщение данных показало, что наименьшей изменчивостью характеризуется высота кустов ( $V = 10,0 \%$ ), остальные параметры – большой изменчивостью ( $V = 24–43 \%$ ). Установлено, что биомасса листьев кустов, растущих на открытом месте, в 4,3 раза превышает аналогичные значения растений, размещенных на удалении 2 м от стены леса. Значительна разница между параметрами и в сравнении с растениями, растущими в окне березового насаждения. Ухудшение условий освещения приводит к увеличению размаха изменчивости биомассы растений. Существенность различий между растениями, произрастающими на открытом месте и в условиях затенения, по биомассе листьев подтверждается однофакторным дисперсионным анализом ( $F_{\phi}=45,06 > F_{0,05}=5,30$ ;  $НСП_{05}=228,4$ ). Растения, располагающиеся близко к стене леса и испытывающие затенение, а также и корневую конкуренцию, в сравнении с кустами на открытом месте, характеризуются и существенно низкими значениями высоты и количества стволиков в кусте, что согласуется с ранее выявленными закономерностями [18].

Для выяснения причин изменчивости биомассы листьев были выполнены расчеты и рассмотрены зависимости отдельных параметров. Анализ связей между изученными признаками показал, что биомасса листьев элеутерококка колючего на 62,7 % зависима от высоты растений, в меньшей степени (на 37,0 %) – от числа стволиков в кусте. Высота кустов и число стволиков в них оказывают влияние и на суммарное количество листьев, но в меньшей степени, что обусловлено изменчивостью их массы (табл. 2).

Воздушно-сухая масса листьев значительно зависит не только от высоты и числа скелетных осей растения, доля влияния которых составляет 44,8 %, но и ряда неучтенных факторов: генетических и морфологических особенностей, обеспеченности световым довольствием, корневой конкуренции и т.п. Выявлено, что одним из таких существенно влияющих параметров является показатель влагосодержания воздушно-сухих листьев, причем с увеличением высоты и количества стволиков в кусте значения показателя уменьшаются, что связано с потерей на транспирацию.

Т а б л и ц а 2

## Показатели изменчивости параметров элеутерококка колючего в БСИ МарГТУ

Параметры	Возраст плантации 17 лет						Возраст плантации 18 лет**	
	Первый ряд*		Второй ряд		$t_{\text{факт.}}$	$t_{\text{ст}}$	$M_x \pm m_x$	$V, \%$
	$M_x \pm m_x$	$V, \%$	$M_x \pm m_x$	$V, \%$				
Воздушно-сухая масса листьев куста, г	190±36,0	42,6	815±112,9	31,0	5,28	2,78	333±97,8	58,8
Высота растений, м	2,3±0,1	10,0	2,9±0,1	10,0	4,57	2,18	2,4±0,2	18,8
Количество стволиков в кусте, шт. ***	6,5±0,7	39,5	13,7±1,6	39,4	4,16	2,18	7,2±0,6	18,1

**Примечание:** \*первый ряд – растения располагаются в направлении север-юг восточнее от стены леса на расстоянии 2 м, второй ряд – через 4,5 м; \*\* растения, растущие в окне березового насаждения (по данным учета в июне 2002 г.); \*\*\* включая корневые отпрыски высотой выше 1 м.

Проявление у растений в интродукционной культуре видимых различий в насыщенности окраски листьев дало основание выделить, наряду с обычной зеленолистной морфологической формой, темно-зеленолиственный морфологический тип, который визуальнo отличается относительно большими размерами листьев. Анализ данных показал (табл. 4), что изменчивость биомассы листочков достаточно большая: размах составляет от 5,5 до 6,3 г у зеленолистной формы и от 2,5 до 4,6 г у темнолистной формы. Наибольшей величиной изменчивости характеризуется зеленолиственный морфотип. В

фенофазе начала цветения при близких значениях влажности листьев отмечается тенденция к существенности различия между воздушно-сухой массой листьев выделяемых морфотипов. Зафиксировано достоверное различие между параметрами в фазе до начала осеннего расцветивания листьев ( $F_{\phi} = 3,3 > F_{0,05} = 2,02$ ), когда содержание сухих веществ в листе темно-зеленолистного морфотипа в 1,6 раза превышает показатель зеленолистной формы.

Влажность листьев элеутерококка колючего в условиях интродукции составляет 59–71 %, что обуславливает изменчивость надземной массы растения. В районе экологического оптимума (Южный Сихотэ-Алинь) влажность листьев достигает  $74,5 \pm 1,0$  % [12]. Подобное различие объясняется климатическими и почвенными условиями естественного ареала и региона интродукции. Значительное снижение содержания влаги в листьях к концу вегетации объясняется длительным периодом засухи 2010 года и уменьшением её содержания в почве, однако при этом темно-зеленолистный морфотип, как и в фенофазе начала цветения растений, характеризовался меньшей влажностью с разницей около 2 %. Значения массы листьев свежесрезанных и в воздушно-сухом состоянии в обеих морфогруппах тесно коррелируют между собой: коэффициент корреляции ( $r$ ) в темнолистной группе и контроле соответственно составили 0,97 и 0,98.

Таблица 3

Масса листьев\* (г) элеутерококка колючего различных морфологических форм

Морфологическая форма	Состояние листа	Потеря от высушивания, %	Статистические показатели				V, %	$t_{факт.}$	$t_{ст}$
			min	max	размах	$M_x \pm m_x$			
<i>В фазе начала цветения у зеленолистных и цветения – у темнолистных (09.07. 2010 г.)</i>									
Зеленолистная (контроль)	свежесрезанный	70,8	0,8	6,3	5,5	$2,7 \pm 0,3$	60,4	-	2,0
	воздушно-сухой	-	0,3	2,3	2,0	$0,8 \pm 0,1$	51,8	-	
Темнолистная	свежесрезанный	69,0	1,2	5,8	4,6	$3,0 \pm 0,2$	38,6	0,4	
	воздушно-сухой	-	0,4	1,7	1,3	$0,9 \pm 0,1$	38,1	1,7	
<i>В фазе до начала осеннего расцветивания листьев (01.09. 2010 г.)</i>									
Зеленолистная (контроль)	свежесрезанный	61,3	0,6	6,9	6,3	$1,5 \pm 0,2$	77,4	-	2,0
	воздушно-сухой	-	0,2	1,0	0,8	$0,5 \pm 0,1$	36,7	-	
Темнолистная	свежесрезанный	58,6	1,1	3,6	2,5	$1,8 \pm 0,1$	36,4	1,4	
	воздушно-сухой	-	0,4	1,5	1,1	$0,7 \pm 0,1$	37,9	3,3	

**Примечание:** \* с черешком.

Анализ данных показывает (см. табл. 3), что элеутерококк колючий в фазе до осеннего расцветивания характеризуется уменьшением воздушно-сухой массы листа. В связи с этим уместно обратиться к работе Д. А. Сабина (цит. [19, с. 46]), в которой указывается, что рост растения не обязательно сопровождается количественным увеличением, но и распадом и убылью сухого вещества. Принимая во внимание указанное выше, можно предположить, что в элеутерококке колючем с начала цветения до осеннего расцветивания происходит перераспределение веществ, накопленных в листьях. У зеленолистной формы элеутерококка доля убыли содержания сухих веществ по сравнению с его значением в начале цветения составляет 37,5 %, а у темнолистной – 22,3 %. По разнице величины воздушно-сухой массы листа морфотипов элеутерококка можно сделать вывод, что растения темнолистного морфотипа характеризуются меньшей потерей сухих веществ, соответственно меньшей необходимостью его перераспределения в системе растительного организма. Следовательно, физиологические процессы в растениях темнолистного морфотипа в течение вегетации лучше обеспечиваются необходимыми веществами.

По расчетам, воздушно-сухая масса листьев элеутерококка колючего при выращивании в условиях интродукции на плантации при размещении растений 5x4 м составит около 400 кг/га, что сопоставимо с аналогичным параметром листьев в воздушно-сухом состоянии на единице площади в кедрово-широколиственных лесах Приморского края [20].

Изучение содержания металлов в органах растений элеутерококка колючего и почвенных образцах выявило ряд особенностей изучаемого вида. Прежде всего, по величине содержания в листьях элеутерококка колючего Mn и Fe, в сравнении с другими микроэлементами, можно их условно отнести к группе макроэлементов (табл. 4). Постепенное увеличение содержания большинства микроэлементов (Mn, Zn, Cu и др.) от корней вверх к органам растения дает основание предположить, что микроэлементы участвуют в процессах транспортирования и депонирования. Изменение содержания микроэлементов в органах элеутерококка колючего свидетельствует об их участии в физиологических процессах, перемещении химических элементов из почвы в растение, их аккумуляции в листьях. Среди вегетативных органов элеутерококка колючего листья выделяются максимальным содержанием микроэлементов, в 1,4–4,7 раза превышающим аналогичный показатель в подземных органах.

Т а б л и ц а 4

**Содержание элементов в почве и органах элеутерококка колючего по данным учета 2009 г.**

Вид образца	Влажность, %	Зольность, %	Содержание ионов металлов в пересчете на высушенный образец, мг/кг						
			Mn	Fe	Zn	Pb	Si	Co	Cd
Листья	11,47	13,55	350,2±28,2	173,4±3,1	28,9±1,7	8,3±0,2	7,8±0,3	6,4±0,2	1,9±0,1
Побеги	6,59	6,13	95,1±1,9	60,0±7,1	29,9±0,4	2,1±0,1	5,4±0,1	0,9±0,04	0,3±0,01
Корни	5,93	8,81	73,9±1,6	120,1±19,5	14,8±0,3	4,2±0,1	2,6±0,1	1,5±0,04	0,6±0,01
Почва	5,64	-	3728±72,4	11420±60,6	34,5±1,3	18,9±2,1	9,9±0,1	10,9±0,1	1,2±0,1

Зольность корней, корневищ и побегов элеутерококка, произрастающего в естественных условиях, составляет 4–6 %, а листьев к концу вегетации – до 13 % [21].

Учитывая повышенное содержание микроэлементов в листьях элеутерококка колючего, в 2010 году мы провели их изучение в два срока их фенологического развития. Анализ данных показал, что в фазе до осеннего расцветивания содержание в листьях элеутерококка большинства элементов (K, Mg, Fe, Zn, Si, Ni и Co), в сравнении с их количеством в фазе начала цветения, увеличивается, причем различия за исключением параметров Ni, Pb и Co, достоверны. И наоборот, отмечается значительное снижение содержания в листьях Mn и некоторое уменьшение концентрации Ca и Cd (табл. 5). В сравнении с 2009 годом в листьях элеутерококка отмечается значительно меньшее содержание Mn, Pb и Co. В листьях элеутерококка колючего исследуемые микроэлементы в убывающем порядке ранжируются следующим образом: Ca – K – Mg – Mn – Fe – Sr – Zn – Cu – Pb – Ni – Co – Cd.

Сравнительный анализ содержания микроэлементов в дикорастущих лекарственных растениях Нечерноземной зоны и органах элеутерококка колючего выявил особенности формирования микроэлементного состава интродуцента. Так, в фазе до осеннего расцветивания листьев элеутерококка содержание Cd превышает наибольшие показатели дикорастущих видов лекарственных растений в 7,1 раза, Pb – в 3,3 раза, Sr – в 1,7 раза, Ni и Co – в 1,5 раза. Близко к наибольшим значениям также и содержание в лис-

Т а б л и ц а 5

## Биохимические параметры листьев элеутерококка колючего в Республике Марий Эл (2010 г.)

Параметры	ДЛР [22]* – контроль	Дата сбора		Разница	$t_{факт.}$	$t_{ст}$
		9 июля	1 сентября			
Влажность, %	нет данных	9,7±0,2	10,5±0,1	+0,8	4,6	2,6
Зольность, %	нет данных	13,1±0,2	13,3±0,3	+0,2	0,6	2,6
Са**	нет данных	41099,5±2600,9	37228,8±3662,7	-3870,2	0,9	2,6
К	нет данных	12303,7±984,1	23469,7±2917,0	+11166,0	3,6	2,6
Mg	нет данных	2813,3±86,6	7837,0±336,2	+5023,7	14,5	2,6
Mn	101,5	151,0±4,0	100,3±7,6	-50,7	5,9	2,6
Fe	319,2	111,1±3,8	344,8±13,3	+233,7	16,9	2,6
Sr	35,5	58,9±1,8	нет данных			
Zn	36,8	22,6±0,5	29,9±1,5	+7,3	4,6	2,6
Си	12,2	5,3±0,2	10,3±0,9	+5,0	5,4	2,6
Pb	0,99	2,9±0,1	3,3±0,3	+0,4	1,0	2,6
Ni	1,06	1,0±0,1	1,5±0,2	+0,5	2,2	2,6
Co	0,96	1,3±0,1	1,4±0,1	+0,1	1,4	2,6
Cd	0,14	1,1±0,01	1,0±0,1	-0,1	1,0	2,6

**Примечание:** \* дикорастущие лекарственные растения в южной тайге Нечерноземной зоны (в опыте 66 сборов);  $t_{факт.}$  – коэффициент достоверности различия;  $t_{ст}$  – критические точки распределения Стьюдента при  $\alpha$  уровне значимости 0,05; \*\* содержание элементов дано на высушенный образец, мг/кг.

тях Fe, Mn, Zn и Cu [23]. С учетом того, что микроэлементы Cd и Pb относятся к числу компонентов химического загрязнения окружающей среды, листья элеутерококка колючего можно оценивать как орган-концентратор, характеризующий степень загрязнения условий местообитания, однако величина их содержания в побегах и подземных органах растений не превышает временные максимально допустимые уровни химических элементов в кормовых травах (ВМДУ-97), составляющие 0,3 мг/кг сухого вещества. Ранее нами установлено, что содержание естественных и техногенных радионуклидов в сырье корней и корневищ элеутерококка колючего, выращенного в Республике Марий Эл, соответствует критерию радиационной безопасности и пригодно для использования в фармацевтической промышленности [24]. Корни и побеги растения, в отличие от листьев, содержат намного меньше изученных микроэлементов.

В целом, содержание химических элементов в органах элеутерококка колючего, в сравнении с дикорастущими лекарственными растениями, позволяет его рассматривать как вид, обладающий высокой аккумуляционной способностью в отношении ряда микроэлементов. Физиологическая способность интродуцента поглощать из почвы и накапливать микроэлементы в значительном количестве, обуславливает, очевидно, высокую зимостойкость и засухоустойчивость вида в культуре. В практическом плане значительное содержание в листьях элеутерококка колючего Ca, K, Mn, Fe, Sr, Си, Zn и некоторых других микроэлементов, наряду с содержанием гликозидов [1–6], позволяет расценить листву этого вида как ценное лекарственное и пищевое сырье. Полученные данные о содержании микроэлементов в листьях элеутерококка являются доводом для пересмотра сроков заготовки листьев в качестве лекарственного и пищевого активного сырья. Н. И. Супрунов наиболее рациональным периодом для сбора листьев считает

фазу полного распрямления листьев (май) и бутонизации (июнь), когда в листьях отмечается наибольшее содержание экстрактивных веществ [21]. Однако автор не отмечает влияние изъятия листьев на жизненное состояние растения.

По данным М. А. Гриневиц [20, с. 8–9], биологическая активность листьев элеутерококка зависит от интенсивности ростовых процессов: перед цветением, когда в листьях в основном рост прекращается, она составляет 130 стимулирующих единиц действия (СЕД), а затем вдвое уменьшается и остается неизменной до конца вегетации. И, наоборот, в корнях наименьшая активность отмечается в июле (53 СЕД), в августе постепенно повышается до 83 СЕД и к концу вегетации достигает максимума (116 СЕД). Эти данные свидетельствуют, что максимум питательных веществ в элеутерококке накапливается до фазы цветения. Затем содержание питательных веществ снижается, вероятно, с использованием их на формирование плодов. К концу вегетации наблюдается их отток и запасание в подземных органах.

В листьях элеутерококка в условиях интродукции снижается содержание сухого вещества на 22–37 % от максимальных значений. Исходя из установленных общих правил заготовки лекарственного растительного сырья, рекомендуемых изъятие не более одной трети общего количества листьев [25], логично предположить, что имеющаяся доля резерва сухих веществ обеспечит нормальное функционирование элеутерококка колючего. Например, известен способ заготовки листьев бархата с черешком (в качестве лекарственного сырья, содержащего эфирное масло, флавоноиды, кумарины и дубильные вещества), который осуществляют срезанием вручную в июле и августе не менее трети от общего числа листьев, с сохранением целостности ветвей и зарослей [26].

### **Выводы**

1. Биомасса листьев элеутерококка колючего существенно зависит от высоты кустов, в меньшей степени – от числа скелетных осей в кусте, а аддитивное воздействие на 82,5 % обусловлено влиянием этих признаков. Существенное влияние на высоту элеутерококка колючего и количество стволиков в кусте оказывает режим освещенности: растения на открытом месте, в сравнении с растущими в условиях затенения, формируют в 4,3 раза большую биомассу листьев. Воздушно-сухая масса листьев 17-летнего растения элеутерококка колючего местного происхождения в зависимости от экологических условий составляет от 0,19 до 0,81 кг.

2. Большая изменчивость массы листа элеутерококка колючего обусловлена не только высотой растения и числом скелетных осей в кусте, но и влажностью самих листьев, а также морфологическими особенностями особей. Наибольшей величиной изменчивости листа характеризуется зеленолиственный морфотип.

3. В период с начала цветения до осеннего расцветивания происходит убыль сухого вещества в листьях элеутерококка колючего, причем растения темнолистного морфотипа характеризуются меньшей их потерей, а соответственно и меньшей необходимостью его перераспределения в системе растительного организма. Выделенный темно-зеленолиственный морфологический тип растения накапливает, в сравнении с зеленолистной формой, до начала осеннего расцветивания в 1,6 раза больше сухих веществ.

4. Увеличение содержания химических элементов происходит у элеутерококка колючего от корневой системы вверх по органам. Физиологическая способность элеутерококка колючего поглощать из почвы и накапливать микроэлементы в значительном количестве, обуславливает, очевидно, высокую зимостойкость и засухоустойчивость вида в интродукционной культуре.

5. Значительное накопление ряда микроэлементов в подземных и надземных органах интродукционных культур позволяет охарактеризовать их как ценное пищевое активное и лекарственное сырье.

6. С целью рационального прижизненного использования листьев в качестве лекарственного и пищевого сырья целесообразно заготавливать их в период с начала созревания плодов (со второй декады по конец августа).

### Список литературы

1. Еляков, Г. Б. Гликозиды элеутерококка. Выделение и некоторые свойства элеутерозидов В и Е / Г. Б. Еляков, Ю. С. Оводов // Химия природных соединений. – 1965. – № 1. – С. 3-7.
2. Оводов, Ю. С. Химическое исследование гликозидов элеутерококка колючего и акантопанакса скученноцветного / Ю. С. Оводов, Л. А. Елякова, Р. Г. Оводова и др. // Реф. докл. IX Менделеевского съезда по общ. и прикл. хим. – М., 1965. – № 4. – С. 10-11.
3. Соловьева, Т. Ф. Общая характеристика полисахаридов аралиевых / Т. Ф. Соловьева, Т. И. Прудникова, Ю. С. Оводов // Растительные ресурсы. – 1968. – Т. 6. Вып. 4. – С. 497-501.
4. Супрунов, Н. И. Гликозиды листьев *Eleutherococcus senticosus* / Н. И. Супрунов // Химия природных соединений. – 1970. – № 4. – С. 486.
5. Еляков, Г. Б. Гликозиды аралиевых / Г. Б. Еляков, Ю. С. Оводов // Химия природных соединений. – 1972. – № 6. – С. 697-709.
6. Лекарственное растительное сырьё. Фармакогнозия: учеб. пособие / Г. А. Белодубровская, К. Ф. Блинова, В. В. Вандышев и др.; под ред. Г. П. Яковлевой и К. Ф. Блиновой. – СПб.: СпецЛит, 2004. – 765 с.
7. Корневище и корень элеутерококка колючего: фармакопейная статья ФС 42-2725-90. – Изд. официальное фармакопейного комитета, 1990. – 6 с.
8. Экстракт элеутерококка жидкий: фармакопейная статья ФС 42-2833-92. – Изд. официальное фармакопейного комитета, 1992. – 6 с.
9. Форш, О. Д. Распространение и запасы элеутерококка колючего в лесах Южного Приморья / О. Д. Форш // Растительные ресурсы. – 1968. – Т. 4. Вып. 1. – С. 24-28.
10. Супрунов, Н. И. Некоторые биоэкологические особенности свободнойгодника колючего и его запасы на Советском Дальнем Востоке / Н. И. Супрунов, Т. П. Самойлов // Растительные ресурсы. – 1970. – Т. 6. Вып. 3. – С. 328-336.
11. Измоденов, А. Г. Богатства кедрово-широколиственных лесов / А. Г. Измоденов. – М.: Лесн. промышленность, 1972. – 120 с.
12. Дюкарев, В. Н. Продуктивность биомассы *Eleutherococcus senticosus* Rupr. et Maxim. / В. Н. Дюкарев, Т. А. Комарова // Растительные ресурсы. – 1986. – Т. 22. Вып. 4. – С. 481-487.
13. Захаренков, А. С. О некоторых принципах нормативно-правовой регламентации пользования недеревесными ресурсами леса и их отражение в правилах сбора и заготовки // Современное состояние недеревесных растительных ресурсов России: под ред. Т. Л. Егошиной. – Киров: ВНИИОЗ, 2003. – С. 22-27.
14. Ковальский, В. В. Микроэлементы в растениях и кормах ЯЗ / В. В. Ковальский, Ю. И. Раецкая, Т. И. Грачева. – М.: Колос, 1971. – С. 3-15.
15. Государственная фармакопея СССР: Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырьё / Министерство здравоохранения СССР; 11 изд., доп. – М.: Медицина, 1989. – Вып. 2. – С. 15-24.
16. Методика выполнения измерений валового содержания меди, кадмия, цинка, свинца, никеля, марганца, кобальта, хрома методом атомно-абсорбционной спектроскопии. – М.: Изд. ФГУ «ФЦАО», 2007. – 20 с.
17. Журавлева, Е. Г. Подготовка почвенных и растительных образцов для анализа на содержание микроэлементов / Е. Г. Журавлева // Методы определения микроэлементов в почвах, растениях и водах; под ред. И. Г. Важенина. – М.: Колос, 1974. – С. 7-24.
18. Разумников, Н. А. Опыт создания плантации *Eleutherococcus senticosus* Rupr. et Maxim. в Республике Марий Эл / Н. А. Разумников, О. Н. Бажин // Нива Поволжья. – 2010. – № 1. – С. 90-94.
19. Зайцев, Г. Н. Оптимум и норма в интродукции растений / Г. Н. Зайцев. – М.: Наука, 1983. – 270 с.
20. Гриневич, М. А. Элеутерококк / М. А. Гриневич. – Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 1970. – 40 с.
21. Супрунов, Н. И. Фармакогнозия и технология получения препаратов элеутерококка колючего / Н. И. Супрунов // Итоги изучения элеутерококка в Советском Союзе. – Владивосток: ДВФСОАНССИ. – 1966. – С. 20-23.
22. Шелепова, О. В. Региональные особенности формирования микроэлементного состава лекарственных растений / О. В. Шелепова, М. Е. Пименова // Ботанические сады как центры разнообразия и рационального использования растительных ресурсов: материалы междунар. конф. – М.: Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, 2005. – С. 549-552.

23. Разумников, Н.А. Закономерности сезонного развития элеутерококка колючего в Марий Эл / Н.А. Разумников, И. Н. Разумников // Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2010. – № 3. – С. 107-116.

24. Разумников, Н. А. Оценка сырья элеутерококка колючего требованиям радиационной безопасности / Н. А. Разумников, Е. А. Гончаров. – Известия ОГАУ. – 2010. – № 1 (25). – С 190-192.

25. Чиков, П. С. Лекарственные растения: справочник / П.С. Чиков; 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1989. – 431 с.

26. Растения для нас: справочное издание / К. Ф. Блинова, В. В. Вандышев, М. Н. Комарова и др.; под ред. Г. П. Яковлева и К. Ф. Блиновой. – СПб.: Учебная книга, 1996. – 653 с.

Статья поступила в редакцию 08.12.10.

**Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг., Государственный контракт № П738 от 20 мая 2010 года.**

*N. A. Razumnikov, V. I. Talantsev, I. N. Razumnikov*

#### **REGULARITIES OF SPINY ELEUTEROCOCCUS LEAVES BIOMASS ACCUMULATION AND TRACE SUBSTANCES CONTENT IN IT**

*Variability of the spiny eleuterococcus leaves biomass which depends on plants height, number of skeletal axes (stipes), number of leaves on a bush, belonging to a certain morphologic group and moisture content in the leaves is revealed. It was found out that an influence rate of the bush height and a number of stipes in it in case of additional impact is 82,5%. The data concerning the trace substances content in the parts of the plants are given. On the basis of the data the ideal period for spiny eleuterococcus leaves laying-out as food and drug raw material is calculated.*

**Key words:** *spiny eleuterococcus, biomass, trace substances.*

---

*РАЗУМНИКОВ Николай Александрович* – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесной селекции, недревесных ресурсов и биотехнологии МарГТУ. Область научных интересов – интродукция и биологические ресурсы (рациональное использование биоресурсного потенциала дальневосточных древесных растений в условиях интродукции). Автор более 90 публикаций.

E-mail: kls@marstu.net

*ТАЛАНЦЕВ Владимир Иванович* – инженер кафедры химии МарГТУ. Область научных интересов – физическая химия. Автор восьми публикаций.

E-mail: askarlson@mail.ru

*РАЗУМНИКОВ Иван Николаевич* – магистр МарГТУ. Область научных интересов – интродукция и биохимия растений. Автор семи публикаций.

E-mail: kls@marstu.net

УДК 581.1

**И. Н. Смоленская, О. В. Решетняк, Е. С. Суханова,  
С. Ю. Воевудская, А. М. Носов**

## **УВЕЛИЧЕНИЕ СИНТЕЗА ГИНЗЕНОЗИДОВ В СУСПЕНЗИОННОЙ КУЛЬТУРЕ КЛЕТОК ЖЕНЬШЕНЯ НАСТОЯЩЕГО ПРИ ДЕЙСТВИИ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА**

*Изучено влияние синтетических ауксинов – НУК ( $\alpha$ -нафтилуксусная кислота) и 2,4-Д (2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота) на накопление и состав тритерпеноидных гликозидов в суспензионной культуре клеток женьшеня настоящего в течение длительного культивирования. Наряду с повышением уровня содержания гинзенозидов произошло изменение их качественного состава: в биомассе клеток, выращиваемых на среде с  $\alpha$ -НУК, присутствовали семь основных гинзенозидов Rb- и Rg-групп, характерных для интактного растения.*

**Ключевые слова:** *Panax ginseng*, гинзенозиды, суспензионная культура клеток, тритерпеновые гликозиды.

**Введение.** Женьшень – одно из самых древних лекарственных растений на Земле, имеющий достаточно узкий ареал распространения. Целебные свойства растений рода *Panax* известны давно и обусловлены уникальной композицией биологически активных веществ, центральное место среди которых принадлежит тритерпеновым гликозидам даммаранового ряда – гинзенозидам. По структуре агликона эти соединения делятся на две группы: 20(S)-протопанаксадиола (Rb-группа – Rb<sub>1</sub>, Rb<sub>2</sub>, Rc, Rd гинзенозиды) и 20(S)-протопанаксатриола (Rg-группа – Rf, Rg<sub>1</sub>, Re гинзенозиды). По их содержанию оценивают сырье женьшеня при широком использовании его в медицине [1].

Фармакологическое действие этих двух групп соединений хорошо изучено, причем показано, что часто их активность имеет альтернативный характер [2].

Однако получение гинзенозидов из растений женьшеня процесс достаточно трудоемкий, поскольку запасы его ограничены как ареалом распространения, так и природными условиями. Введение растений рода *Panax* в культуру клеток может быть одним из способов замены природного растительного сырья. При получении культур клеток из этого растения исследователи прежде всего пытаются сохранить в условиях *in vitro* биосинтез тритерпеновых гинзенозидов даммаранового ряда, как наиболее активных фармакологических соединений. Изменяя состав и концентрации компонентов питательной среды, иногда удается повысить синтез вторичных метаболитов в культивируемых клетках. При этом важно сохранение всех составляющих групп гинзенозидов аналогично тому, что имеется в растении [3].

К соединениям, повышающим накопление вторичных метаболитов, относятся регуляторы роста, применяемые в различных концентрациях и сочетаниях. Однако сведения о влиянии гормонов на синтез соединений вторичного метаболизма и об их роли в этом процессе часто противоречивы [4,5].

**Цель** настоящей работы состояла в изучении влияния синтетических ауксинов – НУК ( $\alpha$ -нафтилуксусная кислота) и 2,4-Д (2,4-дихлорфеноксиксусная кислота) на накопление и состав тритерпеноидных гликозидов в суспензионной культуре клеток женьшеня настоящего в течение длительного культивирования.

**Техника эксперимента.** В качестве объекта исследования использована культура клеток *Panax ginseng* (С.А. Мей), полученная из корня шестилетнего плантационного растения (Ginseng & Tobaco, Южная Корея), депонированная в Российскую коллекцию культивируемых клеток высших растений (РККК-ВР) под № 66. В коллекции суспензия клеток сохраняется в течение 10 лет на среде Мурасиге и Скуга [6] с содержанием в качестве регуляторов роста 2,4Д (2 мг/л) и БАП (6-бензиламинопурина; 0,5 мг/л). Определение гинзенозидов проводили с помощью ВЭЖХ-анализа описанным ранее методом [7].

**Изложение и интерпретация результатов.** За время цикла выращивания суспензионная культура *P. ginseng* на стандартной среде прирастала в разных опытах от трех до пяти раз. Однако синтез гинзенозидов в этой суспензии практически отсутствовал. В разных циклах выращивания он колебался от 0,04 до 0,17 % от сухой биомассы и был представлен тремя гинзенозидами только Rg-группы (табл.1).

Т а б л и ц а 1

## Сочетания фитогормонов

Цитокинины	Ауксины
Кинетин – 1 мг/л	2,4-Д – 2,37 мг/л
Кинетин – 1 мг/л	НУК – 2 мг/л
БАП – 1,04 мг/л	2,4-Д – 2,37 мг/л
БАП – 1,04 мг/л	НУК – 2 мг/л
БАП – 0,5 мг/мл Контроль	2,4-Д – 2 мг/л

**Примечание:** концентрация кинетина 1мг/л эквимолярна 1,04 мг/л БАП. Концентрация НУК 2 мг/л эквимолярна 2,37 мг/л 2,4-Д.

генетические, так и физиологические перестройки в результате различных воздействий. Об этом свидетельствует изменение их ростовых и биохимических параметров в ответ на смену регуляторов роста [9–10].

Для исследования влияния фитогормонов на синтез гинзенозидов в суспензионной культуре клеток *P. ginseng* параллельно с выращиванием на стандартной среде (содержащей 2 мг/л 2,4-Д и 0,5 мг/л БАП) проводили выращивание этой линии на средах, отличающихся составом фитогормонов. Всего использовали четыре варианта сред, помимо контроля (табл.1). Количество и состав тритерпеновых гликозидов даммаранового ряда определяли на 21 сутки в течение первых 10 субкультивирований.

На средах, содержащих НУК, суспензия прирастала в 2–2,5 раза [10], этот показатель был ниже, чем на стандартной среде. Результаты ВЭЖХ-анализа для каждого варианта гормонального состава сред (А – Г) представлены в табл. 2.

Из представленных данных видно, что на средах, содержащих НУК в качестве ауксина (табл. 2, варианты В и Г), накопление гинзенозидов было гораздо выше – до 4–5 %

Снижение содержания гинзенозидов и сужение их спектра в условиях *in vitro* по сравнению с исходным растением наблюдали достаточно часто при получении других линий клеток *P. ginseng*, где их синтез либо был также низким, либо отсутствовал совсем [5, 8].

Одной из возможных причин низкого накопления гинзенозидов в суспензионных культурах клеток *P. ginseng* являются не оптимальные для их синтеза условия культивирования, в частности, состав регуляторов роста в питательной среде.

Популяции клеток *in vitro* высоко чувствительны к условиям культивирования, поскольку являются лабильными системами, претерпевающими значительные как

Таблица 2

**Количество и состав гинзенозидов в суспензионной культуре клеток  
*P.ginseng* при длительном выращивании на различных средах**

№№ цикла суб- культи- вирования	Содержание гинзенозидов в мг/г абсолютно сухой биомассы							%
	Rb <sub>1</sub>	Rc	Rb <sub>2</sub>	Rd	Rf	Rg <sub>1</sub>	Re	
<b>А) 1 мг/л кинетина и 2,37 мг/л 2,4-Д</b>								
2	0,05	-	0,02	-	0,02	0,06	0,31	0,05
4	0,39	-	-	-	0,08	0,10	0,40	0,10
Контроль	-	-	-	-	0,07	0,08	0,23	0,04
<b>Б) 1,04 мг/л БАП и 2,37 мг/л 2,4-Д</b>								
1	0,07	-	0,04	-	0,05	0,16	0,36	0,07
4	0,03	-	-	-	0,03	0,07	0,52	0,07
6	0,03	-	-	-	0,03	0,41	1,34	0,18
10	0,85	--	--	--	0,15	1,98	1,60	0,46
Контроль	-	-	-	-	0,07	0,08	0,23	0,04
<b>В) 1 мг/л кинетина и 2 мг/л НУК</b>								
1	1,48	0,96	0,13	0,09	0,41	3,38	7,58	1,40
4	3,39	2,71	0,40	0,19	0,52	4,00	37,33	5,02
5	4,68	0,74	0,55	0,21	0,30	1,56	30,72	3,88
6	10,80	1,20	2,86	0,80	0,64	4,73	57,50	7,85
7	7,0	0,94	0,83	1,00	0,52	4,89	92,16	10,7
8	3,17	0,52	2,50	0,10	0,32	1,39	8,50	1,65
Контроль	-	-	-	-	0,07	0,08	0,23	0,04
<b>Г) 1,04 мг/л БАП и 2 мг/л НУК</b>								
2	0,93	0,15	0,12	0,08	0,33	2,16	4,63	0,84
4	3,39	1,75	0,40	0,25	0,34	2,81	32,00	4,09
6	2,91	0,40	0,35	0,21	0,36	2,34	17,49	2,41
10	0,41	--	--	--	0,15	2,20	20,00	2,3
17	1,05	след	след	0,30	след	2,36	13,71	1,74
Контроль	-	-	-	-	0,07	0,08	0,23	0,04

на 4 цикле субкультивирования (в контрольном варианте – 0,04 %). Однако на среде, содержащей в качестве цитокинина БАП (табл. 2, вариант Г), при дальнейшем субкультивировании уровень гинзенозидов снизился до 2 %, а на среде с кинетином (табл. 2, вариант В) – наоборот, повысился до 11 % к 7 пассажу.

В серии сред с использованием в качестве ауксина 2,4-Д (табл. 2, варианты А и Б) содержание вторичных метаболитов варьировало. В среднем в течение шести циклов выращивания их сумма составляла не более 0,18 %. В вариантах с 2,4-Д состав гинзенозидов Rb-группы был нестабилен.

При этом на средах с НУК синтез активизировался с 1-го субкультивирования, и в этих вариантах присутствовали все семь гинзенозидов, что сравнимо с интактным корнем растения (Rb<sub>1</sub>, Rb<sub>2</sub>, Rc, Rd, Rf, Rg<sub>1</sub>, Re). Анализ спектра индивидуальных гинзенозидов показал, что в присутствии НУК активизируется синтез обеих групп соединений в суспензии, но больше всего Rb-группы. Основными компонентами были соединения с агликоном 20(S)-протопанаксатриол (Rf, Rg<sub>1</sub>, Re – Rg-группа). Они составляют

наибольшую массу и накапливаются в течение всего цикла роста культуры. Мажорным в этой группе являлся Re-гинзенозид. Соединения с агликоном 20(S)-протопанаксадиол (Rb<sub>1</sub>, Rb<sub>2</sub>, Rc, Rd – Rb группа) содержатся в значительно меньших количествах – от 10 до 14 %, и вклад их в общую сумму гинзенозидов невелик, хотя синтез их также возрастает. Основным в этой группе являлся Rb<sub>1</sub>-гинзенозид. К 6 и 7 пассажам увеличивается содержание всех семи гинзенозидов, и спектр их не меняется.

Преобладание гинзенозидов Rg-группы характерно и для других линий клеток *P. ginseng* [5, 11, 9] и *P. notoginseng* [12], в то время как в корнях растений чаще преобладает Rb-группа [13]. При сравнении динамики биосинтеза гинзенозидов в культуре клеток *P. ginseng* [10] с динамикой биосинтеза других тритерпенов [14,15] была выявлена закономерность – максимальное накопление этих соединений наблюдали в конце пассажей, когда пролиферативная активность минимальна и обычно происходит растяжение клеток и удвоение ДНК.

**Вывод.** Таким образом, на изменение количества и состава вторичных метаболитов в суспензии клеток *P. ginseng* большое влияние оказывает химическая природа ауксина. Присутствие НУК в питательной среде более благоприятно для процесса биосинтеза тритерпеновых гликозидов даммаранового ряда, о чем свидетельствует повышение их общей суммы и появление всех семи гинзенозидов, характерных для интактного корня, а также одинаковое отношение соединений Rg/Rb-групп.

#### Список литературы

1. Tanaka, O. Saponins of ginseng and related plants / O. Tanaka, R. Kaasi // Progress in chemistry of organic natural products: Berlin, Springer-Verlag. – 1984. – Vol. 46. – P. 1-76.
2. Craig, W.J. Health-promotion properties of common herbs / W.J. Craig // Amer. J. Clin. Nutr. – 1999. – Vol.70 (Suppl.). – P. 491S–499S.
3. Briskin, D.P. Medicinal plants and phytomedicines. Linking plant biochemistry and physiology to human health / D.P. Briskin // Plant Physiol. – 2000. – Vol.124. – P. 507–514.
4. Liu, S. Phosphate effect on production of ginseng saponin and polysaccharide by cell suspension cultures of *Panax ginseng* and *Panax quinquefolium* / S. Liu, J.J. Zhong // Process Biochem. – 1998. – Vol. 33. – P. 69–74.
5. Чой, К.-Т. Продукция гинзенозидов культурой клеток женьшеня (*Panax ginseng* С.А. Мейер) / К.-Т. Чой, И.-О. Ан, Д.-Ч. Парк // Физиология растений. – 1994. – Т. 41. – С. 784-788.
6. Murashige, T. A Revised medium for rapid growth and bio assays with *Tobacco* tissue culture / T. Murashige, F. Skoog // Physiol.Plant. – 1962. – Vol. 15. – P.473-495.
7. Решетняк, О.В. Сравнительный анализ гинзенозидов в разных частях корней и в культивируемых клетках женьшеня настоящего / О.В. Решетняк, Н.Д. Черняк, И.Н. Смоленская и др. // Химико-фармацевтический журнал. – 2008. – Т. 42. – С. 34-39.
8. Кунах, В.А. Продуктивность и генетическая структура популяции клеток *Panax ginseng* С.А. Мейер при культивировании *in vitro* / В.А. Кунах, Л.П. Можилевская, В.И. Адонин, С.И. Губарь // Биотехнология. – 2003. – № 3. – С. 25–35.
9. Bonfill, M. Influence of auxins on organogenesis and ginsenoside production in *Panax ginseng* callus / M. Bonfill, R.M. Cusido, J. Palazón, M. Pinol, C. Morales // Plant Cell, Tissue and Organ Cult. – 2002. – Vol. 68. – P. 73–78.
10. Смоленская, И.Н. Противоположное влияние синтетических ауксинов – 2,4-дихлорфеноксиуксусной и 1-нафтилуксусной кислот на рост культуры клеток женьшеня настоящего и синтез гинзенозидов / И.Н. Смоленская, О.В. Решетняк, Ю.Н. Смирнова и др. // Физиология растений. – 2007. – Т. 54. – С. 243-252.
11. Mallol, A. Ginsenoside production in different phenotypes of *Panax ginseng* transformed roots // A. Mallol, R.M. Cusido, J. Palazon, M. Bonfill, C. Morales, M.T. Pino // Phytochemistry. – 2001. – Vol. 57. – P.365-371.
12. Wang, W. Enhancement of ginsenoside biosynthesis in high-density cultivation of *Panax notoginseng* cells by various strategies of methyl jasmonate elicitation // W. Wang, Z.Y. Zhang, J.J. Zhong // Appl.Microbiol.Biotechnol. – 2005. – Vol. 67. – P. 752-758.

13. Булгаков, В.П. Содержание даммарановых гликозидов в различных каллусных линиях *Panax ginseng* С.А. Мей / В.П. Булгаков, Ю.Н. Журавлев, М.М. Козыренко и др. // Растительные ресурсы. – 1991. – Т.27. – С.94-100.

14. Hayashi, H. Molecular Cloning and characterization of isomultiflorenol synthase, a new triterpene synthase from *Luffa cylindrica*, involved in biosynthesis of bryonolic acid / H. Hayashi, P. Huang, K. Inoue et al. // Eur. J. Biochem. – 2001. – Vol. 268. – P. 6311–6317.

15. Flores-Sánchez, I.J. Biosynthesis of sterols and triterpenes in cell suspension cultures of *Uncaria tomentosa* / I.J. Flores-Sánchez, J. Ortega-López, M.C. Montes-Horcasitas, A.C. Ramos-Valdivia // Plant Cell Physiol. – 2002. – Vol. 43. – P. 1502–1509.

Статья поступила в редакцию 08.11.11.

**Работа выполнена в рамках межгосударственной целевой программы ЕвразЭС «Инновационные биотехнологии», гос.контракт с Министерством образования и науки РФ № 16.M04.12.0003 от 14 апреля 2011 г. «Развитие национальных коллекций культур клеток растений для развития методов современной селекции и сохранения редких генотипов».**

*I. N. Smolenskaya, O. V. Reshetnyak, E. S. Sukhanova, S. Yu. Voevudskaya, A. M. Nosov*

#### **GINSENOSIDES SYNTHESIS INCREASE IN PANAX GINSENG SUSPENSION CELL CULTURE WITH THE GROWTH REGULATOR IN ACTION**

*The synthetic auxins, NAA (α-Naphthaleneacetic acid) and 2,4-D (2,4-Dichlorophenoxyacetic acid) influence on a triterpenoid glycosides composition and its accumulation in Panax ginseng suspension cell culture during a long-term cultivation is studied. Together with ginsenosides concentration increase, their qualitative composition changed: all the 7 main ginsenosides of Rb- and Rg-groups, which are typical for the intact plant, are represented in the cell biomass, growing with the NAA.*

**Key words:** *Panax ginseng, ginsenosides, suspension cell culture, triterpene glycosides.*

---

**СМОЛЕНСКАЯ Ирина Николаевна** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии культивируемых клеток (группа Всероссийской коллекции культур клеток высших растений) Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН. Область научных интересов – биология культивируемых клеток *in vitro*, вторичный метаболизм. Автор 102 публикаций.

E-mail: ismolenskaya@ippras.ru

**РЕШЕТНЯК Оксана Владимировна** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии культивируемых клеток Института физиологии растений им. К. А. Тимирязева РАН. Область научных интересов – вторичный метаболизм, биология культивируемых клеток *in vitro*. Автор 52 публикаций.

E-mail: ox\_reshetnyak@mail.ru

**СУХАНОВА Елена Сергеевна** – научный сотрудник кафедры физиологии растений Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Область научных интересов – биология культивируемых клеток *in vitro*, вторичный метаболизм. Автор 10 публикаций.

E-mail: mushilda@mail.ru

**ВОЕВУДСКАЯ Светлана Юрьевна** – научный сотрудник лаборатории физиологии культивируемых клеток Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН. Область научных интересов – биология культивируемых клеток *in vitro*. Автор семи публикаций.

E-mail: mushilda@mail.ru

**НОСОВ Александр Михайлович** – доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии растений Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Область научных интересов – биология культивируемых клеток *in vitro*, вторичный метаболизм, биотехнология. Автор 270 научных и учебно-методических работ, в том числе пяти монографий и двух учебных пособий.

E-mail: al\_nosov@mail.ru

УДК 581.1, 581.6, 58.085, 576.5

**М. В. Титова, О. В. Решетняк, Е. А. Осипова, Е. С. Суханова,  
А. И. Осипьянц, Н. А. Шумило, А. В. Орешников, А. М. Носов**

**ГЛУБИННОЕ КУЛЬТИВИРОВАНИЕ КЛЕТОК  
*Stephania glabra* (Roxb) Miers:  
ОПТИМИЗАЦИЯ ГОРМОНАЛЬНОГО СОСТАВА  
ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД**

*Проведена оптимизация условий культивирования двух штаммов суспензионной культуры клеток *Stephania glabra* (Roxb.) Miers – продуцента алкалоида стефарина при выращивании культуры в колбах и в барботажном биореакторе. Показано, что снижение концентрации ауксина (2,4-Д) в среде не оказывает существенного влияния на ростовые показатели, однако ведет к повышению (в 1,5 раза) и стабилизации уровня синтеза стефарина для обоих штаммов. Установлено, что уровень накопления биомассы и алкалоида стефарина в культуре клеток *St. glabra* в значительной степени зависит от условий культивирования, а также, по-видимому, обусловлен различной способностью к адаптации у исследованных клеточных штаммов.*

**Ключевые слова:** *стефарин, алкалоиды, суспензионная культура клеток, *Stephania glabra* (Roxb.) Miers.*

**Введение.** Культура клеток высших растений представляет собой экспериментально созданную популяцию соматических клеток, которая является уникальной биологической системой, нуждающейся в тщательнейшем изучении. Помимо теоретического интереса к исследованию поведения растительных клеток вне организма, культура клеток имеет прямое практическое значение. Хорошо известно, что в настоящее время более 25 % всех лекарственных препаратов создаются на базе растительного сырья. Между тем возможности их получения в достаточных количествах ограничены сокращающимися ресурсами дикорастущих растений. В связи с этим культуры клеток лекарственных растений представляют собой перспективный источник биологически активных веществ. Для широкомасштабного производства такого биотехнологического сырья необходимы исследования влияния параметров культивирования на характер роста и биосинтеза вторичных метаболитов в культуре. Системы контроля процессов выращивания клеток *in vitro* создают возможность направленного регулирования биосинтеза путем изменения таких физиологических параметров, как состав сред, физические факторы культивирования и т.д. [1, 2].

Ограниченные возможности для выращивания в нашей стране субтропического растения стефании гладкой *Stephania glabra* (Roxb.) Miers (продуцента группы алкалоидов – стефарина, гиндарина, циклеанина и проч., использующихся для производства лекарственных препаратов, применяемых в неврологии [3–6]) ведет к необходимости получения и выращивания культуры клеток стефании гладкой.

В 1992 году Е. А. Осиповой [7] была получена суспензионная культура клеток стефании гладкой, из которой в результате обработки мутагеном нитрозометилмочевинной на среде с парафторфенилаланином были получены штаммы, характеризующиеся стабильными ростовыми характеристиками и присутствием стефарина в биомассе. Следует отметить, что по качественному составу алкалоидов полученные штаммы отличались от интактного растения. Было показано, что в сумме алкалоидов основная доля приходилась на стефарин, тогда как гиндарин, циклеанин и остальные алкалоиды присутствовали в следовых количествах. Подобная избирательность синтеза облегчает выделение и очистку целевого продукта [7, 8].

Однако по данным литературных источников известно, что в большинстве случаев клеточные культуры различных алкалоидсодержащих растений при длительном выращивании достаточно быстро теряют способность к их стабильному синтезу в процессе культивирования либо не способны накапливать алкалоиды в количествах, необходимых для рентабельного получения и выделения биологически активных соединений [9].

**Целью** работы было изучение возможности оптимизировать рост суспензионной культуры и накопление алкалоида стефарина в клетках *St. glabra* в процессе выращивания за счет варьирования гормонального состава питательных сред и условий культивирования. На основании исследований, проведенных ранее Е. А. Осиповой [7, 8], в качестве оптимизационного фактора был выбран уровень содержания ауксина 2,4-Д в среде.

**Задачи** исследования:

- 1) изучить ростовые и биосинтетические характеристики двух штаммов *St. glabra* при глубинном выращивании в колбах на средах с различным содержанием 2,4-Д;
- 2) для всех вариантов провести культивирование в биореакторах и оценить полученные результаты с точки зрения перспективы промышленного аппаратного выращивания культур для получения алкалоида стефарина.

**Техника эксперимента. Объекты исследования.** В качестве объектов исследования использовали 261 и 113 штаммы суспензионной культуры клеток *Stephania glabra* (Roxb.) Miers, полученные в результате мутагенеза и последующей клеточной селекции и депонированные в ВККК ВР ИФР РАН.

Культуры выращивали на модифицированной питательной среде с основой по Мурасиге-Скуга и с добавлением сахарозы и регуляторов роста (в соответствии с [8]). В средах варьировали содержание 2,4-Д: для варианта выращивания на стандартной среде – 0,1 мг/л среды; для варианта с пониженным содержанием 2,4-Д – 0,005 мг/л среды. Для всех вариантов культивирования начальную плотность культуры поддерживали в пределах 1,4–1,8 г/л по сухой биомассе клеток при жизнеспособности культур 85–96 %.

**Культивирование в колбах.** Для выращивания суспензионных культур клеток в колбах на круговой качалке использовали колбы объемом 0,5 л. Продолжительность цикла субкультивирования составляла две недели. Культивирование проводили в темноте при температуре 26–27°C, влажности 70–75 % и частоте оборотов качалки 80–100 об/мин.

**Культивирование в биореакторах.** В проведенных ранее экспериментах было показано, что предпочтительной системой для аппаратного глубинного культивирования клеток *St. glabra* являются биореакторы с перемешиванием сжатым воздухом [10]. При проведении данной работы использовали барботажный соплоконусный ферментер (разработка Отдела биологии клетки и биотехнологии ИФР РАН; общий объем 20 л; рабочий объем 15 л). Аппаратное выращивание проводили в полупроточном режиме.

Для этого в фазу максимального накопления сухой массы в единице объема суспензии (11–14 сутки) производили отлив суспензии и добавляли свежую питательную среду. Разведение рассчитывали таким образом, чтобы концентрация сухой биомассы в начале каждого цикла была не менее 1,4 г/л по сухой биомассе, т.к. при снижении плотности посадки отмечали падение жизнеспособности клеток, уменьшение удельной скорости роста и конечной концентрации биомассы.

В зависимости от фазы ростового цикла расход воздуха на барботаж составлял 0,1–1,0 л/л/мин. Концентрацию растворенного кислорода  $pO_2$  поддерживали на уровне 10–40 % от насыщения при отсутствии интенсивного пенообразования.

Для уменьшения травматического воздействия перемешивания на клетки на начальных фазах роста устанавливали минимальный расход воздуха (по отсутствию седиментации клеток). В период экспоненциального роста интенсивность перемешивания увеличивали до максимально возможной, не приводящей к разрушению клеток (степень повреждения определяли микроскопически).

Температуру суспензии в аппаратах поддерживали на уровне  $26 \pm 0,5^\circ\text{C}$ .

**Определение ростовых характеристик.** Для характеристики роста и физиологического состояния культур использовали накопление сухой и сырой массы клеток, а также жизнеспособность. Для определения сырой и сухой массы суспензию фильтровали под вакуумом, промывали на фильтре дистиллированной водой и высушивали до постоянного веса в темноте при  $55\text{--}60^\circ\text{C}$ . Жизнеспособность определяли под микроскопом как процент не окрашиваемых 0,025 %-й синькой Эванса клеточных агрегатов от их общего числа в поле микроскопа. Просчитывали не менее 250 агрегатов в трех повторностях.

**Анализ алкалоида стефаглабрина сульфата.** Для анализа 60 мг высушенной биомассы культуры клеток *St. glabra* заливали 1 мл водного раствора 0,1 % серной кислоты, перемешивали и оставляли на 18–20 часов. 6 мкл надосадочной жидкости наносили микрошприцем на ТСХ-пластины с сорбентом Kieselgel 60 F<sub>254</sub> (Merck, Германия) или ПТСХ-П-А-УФ «Сорбфил» (ЗАО «Сорбполимер», Россия). Пластины помещали в камеру, насыщенную парами системы растворителей хлороформ : бензол : этанол : 25 % раствор аммиака ( 50 : 80 : 100 : 0,02, по объему ), и хроматографировали в восходящем слое сорбента ( $R_f$  стефарина равен 0,25) [11]. Количественную оценку содержания алкалоида проводили путем денситометрирования пятна стефаглабрина на пластинке при длине волны 254 нм (денситометр «Сорбфил» ЗАО «Сорбполимер», Россия). Для расчета использовали метод абсолютной калибровки с учетом влажности исследуемой биомассы. В качестве стандарта и для построения калибровочной кривой использовали спиртовые растворы стефаглабрина сульфата (Всероссийский институт лекарственных растений, Москва). Предел детектирования для стефаглабрина сульфата – 0,1 мкг в пятне.

**Интерпретация результатов и их анализ.** *Культивирование в колбах.* Выращивание суспензионной культуры клеток стефании гладкой в колбах проводили по схеме, описанной выше. Для всех указанных вариантов исследовали особенности роста и накопления алкалоида стефарина, а также рассчитывали индекс роста (I), удельную скорость роста ( $\mu$ ), продуктивность по алкалоиду стефарину (P). Полученные результаты представлены на рис. 1, 2 и табл. 1.

Жизнеспособность клеток во всех экспериментах сохранялась на уровне 85–89 % в начале цикла культивирования и повышалась до 88–96 % к началу стационарной фазы.

Все исследованные варианты отличались достаточно высокими ростовыми показателями – максимальное накопление сухой биомассы не опускалось ниже 16 г/л, удельная скорость роста варьировала в пределах 0,26–0,39, индекс роста составлял 8,90–9,89.

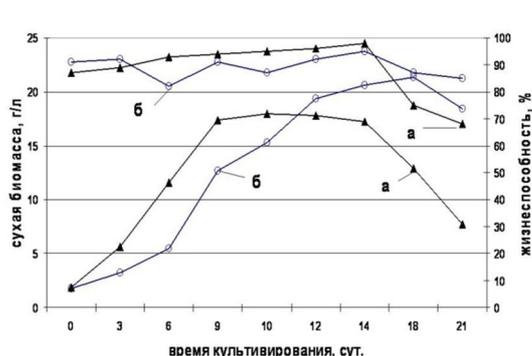


Рис. 1. Накопление сухой биомассы и изменение жизнеспособности при культивировании в колбах 113 штамма суспензионной культуры клеток *St. glabra* на стандартной среде (а) и среде с пониженным содержанием 2,4-Д (б)

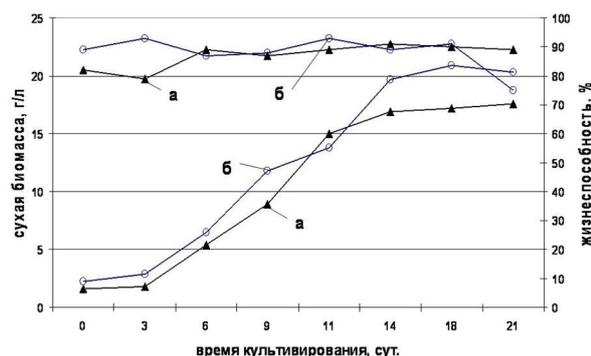


Рис. 2. Накопление сухой биомассы и изменение жизнеспособности при культивировании в колбах 261 штамма суспензионной культуры клеток *St. glabra* на стандартной среде (а) и среде с пониженным содержанием 2,4-Д (б)

Из представленных графиков следует, что рост 261 штамма на обоих вариантах сред характеризуется наличием выраженной лаг-фазы по сухому весу биомассы продолжительностью 2–3 суток (рис.2). В то же время, для кинетики роста 113 штамма по сухому весу лаг-фаза отсутствует (рис. 1). Также можно отметить, что стадия деградации для 113 штамма наблюдается уже на 14 сутки при выращивании на стандартной среде и на 18 – при выращивании на среде № 27 (рис. 1), тогда как для 261 штамма при выращивании на обоих вариантах сред характерно продолжение стадии плато вплоть до окончания субкультивирования – 21 суток (рис. 2). Стадия деградации в 113 штамме сопровождается снижением жизнеспособности культуры, что особенно выражено для варианта на стандартной среде (рис. 1).

Т а б л и ц а 1

Параметры роста и биосинтеза для 113 и 261 штаммов культуры клеток *Stephania glabra* при выращивании на стандартной среде и среде с пониженным содержанием 2,4-Д (колбы)

Штамм	Система культивирования	$M_{\max}$ , г/л	Содержание стефарины, % к сухой биомассе	$P$ , Мг/л среды	$\mu$ , сут <sup>-1</sup>	$I$
113	Стандартная среда	16-19	0,08-0,30	14-67	0,32-0,38	9,45-10,66
	Среда с пониженным содержанием 2,4-Д	16-20	0,10-0,48	16-96	0,27-0,32	9,4-12,2
261	Стандартная среда	15-20	0,10-0,45	17-94	0,29-0,33	9,89-10,47
	Среда с пониженным содержанием 2,4-Д	15-21	0,10-0,63	17-114	0,29-0,34	6,5-10,9

**Примечание:**  $M_{\max}$  – максимальное накопление сухой биомассы, г/л среды,  $P$  – продуктивность культуры клеток по стефарину, мг/л среды,  $\mu$  – удельная скорость роста в экспоненциальной фазе роста, сут<sup>-1</sup>,  $I$  – индекс роста по сухой биомассе.

Были отмечены сходные закономерности накопления стефарины в процессе культивирования для всех исследуемых вариантов. Динамика увеличения содержания алкалоида носила «пиковый» характер. Максимальный уровень синтеза фиксировали на 11–14 сутки, что соответствовало фазе замедления роста или стационарной фазе (рис.1–2, табл.1). В конце стадии стационара и в стадии деградации для всех штаммов наблюдали резкое снижение уровня синтеза. В целом более низкий уровень накопления алкало-

идов был показан для штамма 113 (при выращивании на обоих вариантах сред). Максимальное содержание стефarina (0,10–0,63 %) было отмечено для 261 штамма при выращивании на среде с пониженным содержанием 2,4-Д (табл.1), минимальное – в пределах 0,08–0,30 %, – для 113 штамма при выращивании на стандартной среде (табл.1). Такое различие в уровне синтеза может быть обусловлено результатом генетической гетерогенности клеток исходной культуры, из которой были получены исследуемые в данной работе штаммы.

**Полупроточное выращивание в биореакторах.** Для оценки возможности оптимизации аппаратного культивирования осуществляли полупроточное выращивание суспензионной культуры *St. glabra* на средах с различным содержанием 2,4-Д в барботажных биореакторах.

Культивирование в полупроточном режиме проводили по схеме, отработанной для различных штаммов *St. Glabra* ранее [10]. Для каждого варианта было проведено несколько циклов выращивания в режиме полупотока, каждый мультицикл состоял из 3–4 циклов субкультивирования. Общая продолжительность каждого мультицикла варьировала в пределах 40–60 суток. В ряде экспериментов выращивание осуществляли параллельно в 2–3 биореакторах. Процесс «отлива суспензии-долива среды» проводили при достижении плотности суспензии, соответствующей началу фазы замедления роста. Разбавление средой в каждом цикле проводили до концентрации биомассы, исключаяющей появление лаг-фазы.

Обобщенные данные по основным ростовым и биосинтетическим характеристикам штаммов, полученные в ходе экспериментов, приведены в табл.2.

Т а б л и ц а 2

**Параметры роста и биосинтеза для 113 и 261 штаммов культуры клеток *Stephania glabra* при полупроточном выращивании на стандартной среде и среде с пониженным содержанием 2,4-Д (барботажный биореактор)**

Штамм	Система культивирования	$M_{\max}$ , г/л	Содержание стефarina, % к сухой биомассе	$R$ , мг/л среды	$\mu$ , сут <sup>-1</sup>	$I$
113	Стандартная среда	12-16	0-0,16	10-26	0,20-0,22	8,09-10,70
	Среда с пониженным содержанием 2,4-Д	12-16	0,08-0,20	12-32	0,18-0,21	6,80-9,10
261	Стандартная среда	11-14	0-0,15	8-21	0,17-0,19	8,11-9,57
	Среда с пониженным содержанием 2,4-Д	12-16	0,08-0,27	12-40	0,18-0,28	7,50-9,80

**Примечание:** обозначения см. в табл.1.

Максимальное накопление сухой биомассы наблюдали на 11–14 день культивирования (12–16 г/л для 113 штамма на двух вариантах сред и для 261 штамма на среде с пониженным содержанием 2,4-Д; 11–14 г/л для 261 штамма на стандартной среде, см. табл.2), что несколько ниже показателей, полученных при выращивании в колбах. Кроме того, было отмечено снижение жизнеспособности клеток в процессе культивирования (на уровне 82–92 % и 78–84 % для 113 и 261 штаммов соответственно для обоих вариантов сред); а также снижение скорости роста (в 1,5 раза для всех вариантов) и продуктивности по стефарину. Содержание алкалоидов при таком способе культивирования не превышало 0,08–0,16 % для обоих штаммов при выращивании на стандартной среде; 0,20 % для 113 штамма и 0,27 % для 261 штамма при выращивании на среде с пониженным содержанием 2,4-Д (табл.2). Однако следует отметить, что в целом для

данного способа культивирования при понижении концентрации 2,4-Д в среде синтез в процессе роста культур был более стабилен для обоих штаммов, а для штамма 261 наблюдали также повышение ростовых характеристик.

**Выводы.** В проведенной серии экспериментов для двух штаммов суспензионной культуры *St. glabra* были изучены закономерности изменения ростовых показателей и накопления алкалоида стефарина при выращивании в колбах и биореакторах на питательных средах с различным содержанием 2,4-Д. Показано, что снижение концентрации 2,4-Д не оказывает существенного влияния на ростовые показатели, однако ведет к более высокому и стабильному синтезу стефарина для обоих штаммов. Кроме того, необходимо отметить, что уровень накопления биомассы и алкалоида стефарина в культуре клеток *St. glabra* в значительной степени зависит от условий культивирования, в частности от технических характеристик систем выращивания (интенсивности аэрации и перемешивания, конструктивных особенностей), а также, по-видимому, обусловлен различной способностью к адаптации у исследованных клеточных штаммов.

#### Список литературы

1. DiCosmo, F. Plant cell and tissue culture: Alternatives for metabolite production / F. DiCosmo, M. Misawa // Biotechnology Advances. – 1995. – № 3. – P.425-453.
2. Kieran, P.M. Plant cell suspension cultures: some engineering considerations / P.M. Kieran, P.F. MacLoughlin, D.M. Malone // Journal of Biotechnology. – 1997. – Vol.59. – P.39-52.
3. Madan, B.R. Further studies on some pharmacological actions of Gindarine hydrochloride – an alkaloid of *Stephania glabra* (Roxb.) Miers / B.R. Madan, N.K. Khanna, O.P. Mahatma, V. Madan, A.P. Dadhich // Indian J. Pharmacology. – 1974. – № 6. – P. 97-102.
4. Cava, M.P. The alkaloids of *Stephania glabra*. A direct chemical correlation of the absolute configuration of some benzyltetrahydroisoquinoline, proaporphine, and aporphine alkaloids. A new protoberberine alkaloid / M.P. Cava, K. Nomura, S.K. Talapatra et al. // J.Org. Chem. – 1968. – Vol. 33. – N. 7. – P. 2785-2789.
5. Salo, L.P. Pharmacognostic study of *Stephania glabra* roxb. Miers / L.P. Salo, I.M. Rabinovich // Farmatsiia. – 1970. – Vol. 19. – № 2. – P. 32-36.
6. Соколов, С.Я. Справочник по лекарственным растениям / С.Я. Соколов, И.П. Замотаев. – М.: Медицина, 1990. – 464 с.
7. Осипова, Е.А. Вариабельность роста и синтеза стефарина в клоновых популяциях *Stephania glabra* / Е.А. Осипова // Автореф. дис... канд. биол. наук 03.00.12. – М., 1997. – 25 с.
8. Шамина, З.Б. Повышение продуктивности культуры клеток стефании гладкой *Stephania glabra* roxb. Miers / З.Б. Шамина, Т.А. Савина, Е.А. Осипова, Ю.Г. Попов // Физиология растений. – 1994. – Т. 41. – № 6. – С. 885-890.
9. Verpoorte, R. Plant cell biotechnology for the production of alkaloids: present status and prospects / R. Verpoorte, R. van der Heijden, J. Schripsema, J.H.C. Hoge, H.J.G. Ten Hoopen // J. Nat. Prod. – 1993. – Vol. 56. – № 2. – P. 186-207.
10. Титова, М.В. Выращивание суспензионной культуры клеток *Stephania glabra* roxb. Miers в различных системах: особенности роста и накопления алкалоида стефарина / М.В. Титова, О.В. Решетняк, Е.А. Осипова и др. // Биотехнология. – 2011. – № 4. – С. 40-46.
11. Давыденков, В.Н. Количественное определение стефарина в культуре клеток стефании гладкой / В.Н. Давыденков, Н.В. Гареева, А.А. Кириянов, Л.Т. Бондаренко // Химико-фармацевтический журнал. – 1988. – Т. 2. – № 3. – С. 326-328.

Статья поступила в редакцию 19.09.11.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (Государственный контракт № 16. 552.11.7050) и федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» по направлению «Клеточные технологии» (Государственный контракт № П-403).

*M. V. Titova, O. V. Reshetnyak, E. A. Osipova, E. S. Sukhanova,  
A. I. Osipyanz, N. A. Shumilo, A. V. Oreshnikov, A. M. Nosov*

**PROFOUND CULTIVATION OF  
STEPHANIA GLABRA (ROXB) MIERS CELLS:  
OPTIMIZATION OF PHYTOHORMONES CONTENT OF NUTRITIVE MEDIUM**

*Optimization of the conditions for cultivation of two strains of *Stephania glabra* (Roxb.) Miers suspension cell culture which is an alkaloid stepharin producer in cultivation of the plant in flasks and barbotage bioreactors is carried out. The obtained results showed that auxin content (2,4-D) decrease in the medium does not have a significant effect on growth parameters, but it leads to increase (in 1.5 times) and more stable stepharin production for the both strains. It is ascertained that the level of biomass and alkaloid stepharin accumulation in *St. Glabra* cell culture mostly depends on the cultivation conditions and it appears that it also depends on different ability for adaptation of the studied strains.*

**Key words:** *stepharin, alkaloids, cell suspension culture, *Stephania glabra* (Roxb.) Miers.*

---

*ТИТОВА Мария Владимировна* – научный сотрудник лаборатории физиологии культивируемых клеток Института физиологии растений им. К. А. Тимирязева РАН. Область научных интересов – вторичный метаболизм, биология культивируемых клеток *in vitro*. Автор 20 публикаций.

E-mail: titomirez@newmail.ru

*РЕШЕТНЯК Оксана Владимировна* – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии культивируемых клеток Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН. Область научных интересов – вторичный метаболизм, биология культивируемых клеток *in vitro*. Автор 52 публикаций.

E-mail: ox\_greshtnyak@mail.ru

*ОСИПОВА Елена Александровна* – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории физиологии культивируемых клеток Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН. Область научных интересов – вторичный метаболизм, биология культивируемых клеток *in vitro*. Автор 25 публикаций.

E-mail: ifr@ippras.ru

*СУХАНОВА Елена Сергеевна* – научный сотрудник кафедры физиологии растений Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Область научных интересов – биология культивируемых клеток *in vitro*, вторичный метаболизм. Автор 10 публикаций.

E-mail: mushilda@mail.ru

*ОСИПЬЯНЦ Андрей Игоревич* – студент кафедры физиологии растений Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Область научных интересов – биология культивируемых клеток *in vitro*, вторичный метаболизм. Автор трех публикаций.

E-mail: ifr@ippras.ru

*ШУМИЛО Николай Анатольевич* – научный сотрудник лаборатории физиологии культивируемых клеток Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН. Область научных интересов – вторичный метаболизм, биология культивируемых клеток *in vitro*. Автор 15 публикаций.

E-mail: ifr@ippras.ru

*ОРЕШНИКОВ Александр Викторович* – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии культивируемых клеток Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН. Область научных интересов – вторичный метаболизм, биология культивируемых клеток *in vitro*. Автор 35 публикаций.

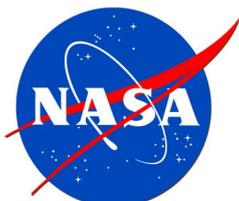
E-mail: ifr@ippras.ru

*НОСОВ Александр Михайлович* – доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии растений Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Область научных интересов – биология культивируемых клеток *in vitro*, вторичный метаболизм, биотехнология. Автор 270 научных и учебно-методических работ, в том числе пяти монографий и двух учебных пособий.

E-mail: al\_nosov@mail.ru

## ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

### МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ NASA И СЕМИНАР GOFC-GOLD/NEESPI «ВЛИЯНИЕ АНОМАЛЬНОЙ ПОГОДЫ НА ПРИРОДНЫЕ, СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ИСКУССТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ: ЗАСУХА 2010 г. В ПОВОЛЖЬЕ РОССИИ» (17-22 ИЮНЯ 2012 г., ЙОШКАР-ОЛА)



EFI ASSOCIATED EVENT

Совместная научная конференция NASA и GOFC-GOLD/NEESPI пройдет в Марийском государственном техническом университете (г. Йошкар-Ола). Конференция предоставит возможность для важного форума и установления связей для исследователей и специалистов из крупных центров России, Европы и США, занимающихся обработкой данных спутниковой информации и цифровых изображений. В МарГТУ соберутся разработчики программного обеспечения и пользователи с целью продвижения методов обработки данных дистанционного зондирования для решения вопросов глобальных исследований в области мониторинга землепользования.

Аномальная погода лета 2010 года в Европейской части России привела к существенным локальным, региональным и глобальным последствиям. В то время как их степень и долгосрочные последствия еще недостаточно изучены, непосредственные и краткосрочные результаты свидетельствуют о значительном влиянии на природные и социально-экономические системы как в России, так и за ее пределами. Особенно это повлияло на сельское и лесное хозяйство (пожары). Считается, что в связи с предполагаемым изменением климата будет происходить увеличение частоты экстремальных погодных условий, приводящих к росту числа лесных пожаров в Северной Евразии. Аномальное лето 2010 представило уникальные примеры для лучшего понимания подобных событий в будущем и их влияния на природные и социально-экономические системы в Северной Евразии и глобально, а также разработке системы принятия решений.

Тема конференции позволит создать основу для обмена знаниями и методами по оценке влияния засух на природные и искусственные системы в плотно заселенных регионах. Целью конференции является комбинирование национальных, региональных и международных экспертных оценок для обработки данных дистанционного зондирования и анализа поддержки научных и управленческих задач. В частности, конференция остановится на рассмотрении двух основных вопросов: 1) влияние аномальной погоды на лесные пожары и 2) влияние аномальных природных условий на сельское и лесное хозяйство.

Требования по участию и регистрации находятся на сайте конференции:  
[http://csfm.marstu.net/nasa\\_conference/rus/Index.html](http://csfm.marstu.net/nasa_conference/rus/Index.html)

**INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE NASA AND GOFC-GOLD/NEESPI WORKSHOP «IMPACTS OF EXTREME WEATHER ON NATURAL, SOCIO-ECONOMIC AND LAND-USE SYSTEMS: FOCUS ON THE 2010 SUMMER ANOMALY IN THE VOLGA REGION» (17-22 JUNE 2012, YOSHKAR-OLA)**

*Information concerns the workshop «Impacts of extreme weather on natural, socio-economic and land-use systems: focus on the 2010 summer anomaly in the Volga region» which will take place on 17–22 June 2012 in Yoshkar-Ola.*

## 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, лесоустройство и лесная таксация; 06.03.03 Агролесомелиорация 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:

- рекомендация кафедры;
- экспертное заключение о возможности опубликования.

### **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>

---

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