

ВЕСТНИК 2(9) 2010

МАРИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научный журнал

Издаётся с ноября 2007 года

Выходит три раза в год

СЕРИЯ «Лес. Экология. Природопользование»

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

Учредитель:

ГОУ ВПО «Марийский государственный технический университет»

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

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

Адрес редакции:

424006, Йошкар-Ола, ул. Панфилова, 17

Тел. (8362) 68-78-46, 68-63-41

Факс (8362) 41-08-72

E-mail: vestnik@marstu.net

Редактор *Т. А. Рыбалка*

Дизайн обложки *Л. Г. Маланкина*

Компьютерная верстка

А. Ю. Желонкин

Перевод на английский язык

М. А. Шалагина

Подписано в печать 27.09.10.

Формат 60×84 1/8. Усл. п. л. 12,32.

Тираж 500 экз. Заказ №99.

Марийский государственный

технический университет

424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Отпечатано с готового оригинал-макета

в ООО «Реклайн»

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
(Нижегород)

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, к.с.-х.н., министр экологии и природных ресурсов Нижегородской области

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

Слово к читателям

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

В. А. Усольцев, М. М. Семышев. Продукционные характеристики с учетом конкуренции деревьев в искусственных и естественных сосняках: сравнительный анализ

Э. А. Курбанов, О. Н. Воробьев, А. В. Губаев, С. А. Лежнин, С. А. Незамаев, Т. Л. Александрова. Оценка зарастания земель запаса Республики Марий Эл лесной растительностью по спутниковым снимкам

А. Р. Касимов, А. Хильдебрандт, Ю. В. Обносов. Влияние склонового леса Омана (регион Дофар), питаемого осадками из тумана, на подземный гидрологический режим: моделирование в масштабе корневой зоны

В. В. Пахучий. Производительность леса в связи с изменением климата в Республике Коми

Ю. М. Дебринюк. Фактическая и потенциальная продуктивность древостоев Украинского Расточья

Н. Н. Бессчетнова. Сравнительная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной по содержанию крахмала в побегах

И. С. Нечаева, Н. А. Бабич. Репродуктивные свойства сорных растений лесных питомников

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

А. Н. Чемоданов, Р. Х. Гайнуллин. Определение силовых характеристик процесса продольного резания древесины на шпон

С. А. Чудинов. Адаптационные технологии в строительстве лесовозных дорог в условиях изменения климата

Е. В. Вайнштейн, М. Г. Салихов. Влияние длительного нагревания на процессы старения и физико-механические свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона с добавками отсевов дробления малопрочных известняков

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Н. К. Краева, О. В. Малюта, А. Р. Григорьева. Оценка возможной токсичности нетрадиционных органических удобрений и способы ее снижения

Р. В. Сергеев, А. И. Шургин. Изучение влияния минерального и гормонального состава среды на размножение *in vitro* генотипов ивы с повышенным содержанием биологически активных веществ

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

Международная конференция «Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность, мониторинг и технологии по адаптации»

С. А. Денисов. Полезная книга

Информация для авторов

CONTENTS

3 *A word to the reader*

FORESTRY

V. A. Ussoltsev, M. M. Semyshev. Production characteristics with taking into account tree competitiveness of artificial and natural pine forests: comparative analysis

5 **E. A. Kurbanov, O. N. Vorobyev, A. V. Gubayev, S. A. Leznin, S. A. Nezamayev, T. L. Alexandrova.** Estimation of reforestation of Mari El Republic abandoned agricultural lands by satellite images

14 **A. Kasimov, A. Hildebrandt, Yu. Obnosov.** Impact of the Dhofar cloud forest on subsurface hydrological fluxes: modelling on the scale of a near-root zone soil continuum

21 **V. V. Pakhuchiy.** Forest productivity in connection with climate change in Komi Republic

30 **Yu. M. Debrinyuk.** Real and potential productivity of Ukrainian Roztochya forest stands

36 **N. N. Besschetnova.** Comparative estimation of starch content in the sprouts of scotch pine plus-trees

49 **I. S. Nechaeva, N. A. Babich.** Reproductive features of weed plants of the tree nurseries

FORESTRY TECHNOLOGIES AND MACHINES

A. N. Chemodanov, R. Kh. Gainullin. Power characteristics detection of the process of wood longitudinal slicing to veneer

68 **S. A. Chudinov.** Adaptation technologies in forest roads building in the changing climate conditions

76 **E. V. Vainshtein, M. G. Salikhov.** Long heating influence to the ageing processes and physical and mechanical properties of rubble and mastic asphalt concrete with screenings of solid limestone breaking up

PROBLEMS IN ECOLOGY AND RATIONAL NATURE EXPLOITATION

N. K. Kraeva, O. V. Maluta, A. R. Grigoreva. Nonconventional organic fertilizers possible toxicity estimation and the ways of its decrease

87 **R. V. Sergeev, A. I. Shurgin.** Study of mineral and hormonal medium composition influence to propagation *in vitro* willow genotypes with high concentration of biologically active substances

DATES. EVENTS. COMMENTS

International conference «Forest ecosystems in the changing climate conditions: biological productivity, monitoring and adaptation technology»

100 **S. A. Denisov.** Useful book
104
106 *Information for the authors*

СЛОВО К ЧИТАТЕЛЯМ

Уважаемый читатель, настоящий выпуск «Вестника МарГТУ» публикует статьи ученых лесного направления из Архангельска, Екатеринбурга, Йошкар-Олы, Казани, Нижнего Новгорода, Сыктывкара, а также зарубежья – Германии, Омана и Украины. Тематика статей рубрики «Лесное хозяйство» разнообразна и отчасти обусловлена проходившей в МарГТУ с 28 июня по 2 июля Международной конференцией с элементами научной школы «Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность, мониторинг и технологии по адаптации». Представлены работы, посвященные как продукционным характеристикам насаждений с учетом конкуренции деревьев в искусственных и естественных сосняках (В. А. Усольцев, М. М. Семьшев, Екатеринбург), так и фактической и потенциальной продуктивности лесов в связи с изменением климата (В. В. Пахучий, Сыктывкар; Ю. М. Дебринюк, Украина). Работа в области лесной гидрологии склонового леса полуаридной зоны в Омане, получающего влагу из тумана, представлена учеными из Омана, Германии и России (А. Kasimov, A. Hildebrandt, Y. Obnosov). Ими предложена модифицированная математическая модель Грина-Ампта для вертикального влагопереноса в зоне питания дерева.

Отдельным аспектам искусственного воспроизводства лесов посвящены две работы, в одной из которых показаны возможности сравнительной оценки степени наследственной обусловленности различий клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной по способности аккумулировать запасные вещества в тканях годичных побегов (Н. Н. Бессчетнова, Нижний Новгород), а в другой оценивается флористический состав, репродуктивные и морфологические особенности сорных растений лесных питомников Севера, что является биологической основой для совершенствования системы агротехнических мероприятий при выращивании посадочного материала (И. С. Нечаева, Н. А. Бабич, Архангельск).

Мониторингу зарастания молодняками березы и сосны бывших сельскохозяйственных земель и созданию тематической карты на основе использования космических снимков высокого разрешения ALOS в сочетании с данными наземных исследований посвящена работа авторского коллектива под руководством Э. А. Курбанова (Э. А. Курбанов, О. Н. Воробьев, А. В. Губаев, С. А. Лежнин, С. А. Незамаев, Т. Л. Александрова, Йошкар-Ола).

В целом, темы исследований в области лесного хозяйства, рассматриваемые в данном выпуске журнала, подчеркивают общность интересов и вопросов, которые волнуют лесоводов разных стран, решать которые, так или иначе, придется всем вместе.

Рубрика «Технологии и машины лесного дела» продолжает освещение вопросов обработки древесины (А. Н. Чемоданов, Р. Х. Гайнуллин, Йошкар-Ола) и актуальной в лесном комплексе темы строительства дорог и повышения прочности их дорожных покрытий (С. А. Чудинов, Екатеринбург; Е. В. Вайнштейн, М. Г. Салихов, Йошкар-Ола).

В рубрике журнала «Проблемы экологии и рационального природопользования» публикуются работы, выполненные в Центре коллективного пользования МарГТУ. Тематика этих статей направлена на оценку возможной токсичности нетрадиционных органических удобрений и способы снижения возможности загрязнения удобрений солями тяжелых металлов (Н. К. Краева, О. В. Малюта, А. Р. Григорьева), а также вопросы рационального использования современных технологий микроклонального размножения ивы (Р. В. Сергеев, А. И. Шургин) с целью создания промышленных плантаций высокопродуктивных по салицину генотипов ивы.

Завершается номер информацией о прошедшей международной конференции, организованной на базе Марийского государственного технического университета, коллектив которого, активно участвуя в международном сотрудничестве с ведущими европейскими и американскими лесными вузами, продолжает работу по интеграции в общеевропейское образовательное пространство и повышению академической мобильности студентов и преподавателей. Приглашаем вас ознакомиться с результатами наших исследований и включиться в работу международного консорциума. Материалы конференции помещены в интернете на сайте <http://csfm.marstu.net/projects.html>.

Обращаем внимание читателей на некоторые изменения в «Информации для авторов», которая размещена в конце номера.

Редколлегия.

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630*52:630*174.754+581.55:56.017

В. А. Усольцев, М. М. Семышев

ПРОДУКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ С УЧЕТОМ КОНКУРЕНЦИИ ДЕРЕВЬЕВ В ИСКУССТВЕННЫХ И ЕСТЕСТВЕННЫХ СОСНЯКАХ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

По материалам 10 и 4 пробных площадей, заложенных соответственно в искусственных и естественных двадцатилетних чистых сосняках Аман-Карагайского бора (Северный Казахстан), исследовано влияние индексов конкуренции на точность оценки фитомассы и годовичного прироста ствола дерева. С целью исключить зависимость величины радиуса влияния соседей на модельное дерево от его размера предложен метод оценки фитомассы и прироста дерева посредством регрессионных моделей, включающих в себя в качестве независимых переменных не только индекс конкуренции, но и основные таксационные показатели дерева – диаметр ствола и высоту. Установлено, что при увеличении радиуса влияния коэффициент детерминации регрессионных уравнений вначале возрастает, а достигнув максимума, по мере дальнейшего удаления от центрального дерева снижается. Величина оптимального радиуса влияния составляет в естественных сосняках 1,8–2,0 м, что меньше, чем в культурах (3,0–3,2 м), в связи с меньшей плотностью последних.

Ключевые слова: *лесное насаждение, фитомасса дерева, годовичный прирост ствола, естественный сосняк, культуры сосны, аллометрические уравнения, индекс конкуренции.*

Введение. Многочисленные исследования в области фитоценологии свидетельствуют о большой роли во взаимоотношениях растений процессов конкуренции за ресурсы среды, связанных с характером размещения деревьев на площади. Поэтому при моделировании роста и биопродуктивности деревьев в насаждениях и динамики органического вещества в лесных экосистемах конкурентные отношения должны учитываться [1]. В прикладном аспекте учет конкурентных отношений между деревьями необходим для повышения точности оценки фитомассы и годовичного прироста как деревьев, так и насаждений в целом.

По мнению С. Н. Сеннова [2], из всех факторов, влияющих на процесс взаимодействия растений между собой, вклад конкуренции, или количественное выражение конкурентных отношений, легче всего определить с использованием индекса конкуренции

(CI), поскольку в методическом отношении это довольно просто. Предложено несколько десятков эмпирических индексов конкуренции. Отметим лишь некоторые из них [3–12].

Для понимания механизмов конкуренции необходимо знать особенности размещения деревьев на площади, и этой проблеме посвящено множество публикаций [13–20]. В частности, применяют мозаику полигонов Вороного-Дирихле [20] и Штера [21]. В. В. Плотниковым [17] предложен способ оценки и сравнения характера размещения особей на пробных площадях, основанный на статистическом анализе варьирования плотности на учетных площадках, перекрывающихся между собой. Тип размещения особей при этом оценивается по характеру распределения частот плотностей. В работе [18] описан способ построения радиальной функции распределения по известным координатам. Получаемая радиальная функция распределения обладает характерными параметрами, имеющими биологический смысл.

При определении конкурентного статуса дерева и влияния конкуренции на его рост и продуктивность особую важность имеет нахождение оптимального расстояния, на котором происходит взаимодействие деревьев, или на котором растения «чувствуют» друг друга [5, 11, 12, 22].

П. Я. Грабарник [1] под моделированием конкуренции понимает использование индексов конкуренции как объясняющих переменных в регрессионных моделях роста индивидуального дерева. Детальный анализ взаимосвязи радиального прироста сосны и CI [22] показал, что коэффициент детерминации (R^2) в уравнении названной связи объясняет долю изменчивости прироста на 56,4%. Исследование зависимости *радиальный прирост* $\sim CI$ в диапазоне радиуса влияния (радиуса пространственного взаимодействия) от 1 до 9 м выявило наличие максимума R^2 при учете «соседей» в радиусе 5–6 м, что составляет половину средней высоты деревьев в древостое.

Дж. Мур с соавторами [23] исследовали в дубовых насаждениях влияние CI , основанного на измерении размеров деревьев и расстояний между ними, на 10-летний прирост площади сечения ствола, причем в уравнение зависимости кроме CI были включены таксационные характеристики центрального дерева (subject tree): диаметр на высоте груди, высота дерева, площадь проекции кроны и возраст. Установлено, что включение CI в уравнение в дополнение к характеристикам центрального дерева повышало степень объяснения изменчивости прироста (по R^2) на 4–9 % (например, с 0,706 до 0,749 или с 0,665 до 0,758).

Проведенный анализ методов учета конкурентных отношений посредством различных CI и влияния последних на продукционные характеристики дерева показал, что это влияние оценивается в одних случаях без учета характеристик центрального дерева, но с выявлением оптимального радиуса влияния [22], а в других случаях – с учетом названных характеристик центрального дерева, но без выявления оптимального радиуса влияния [23]. **Целью** исследований явилась попытка совместить названные подходы и выявить влияние нескольких CI на фитомассу и прирост ствола дерева с учетом его таксационных характеристик и с установлением оптимального радиуса влияния в 20-летних чистых естественных и искусственных сосняках.

Объекты и методы исследования. Район исследований относится к провинции Тоболо-Убаганской равнинной степной зоны Казахстана, которая расположена между Зауральским плато на западе, Тургайским плато на юге, левобережьем Ишима на востоке и колочной лесостепной равниной на севере. Исследования проведены в бору Аман-Карагай, находящемся на левобережье р. Убаган, в 110 км к юго-востоку от г. Кустанай. Бор площадью 80,9 тыс. га [24] представляет собой два песчаных, вытянутых

в северо-восточном направлении массива, которые располагаются на территории Басаманского и Семиозерного лесхозов Кустанайской области.

Объекты исследований расположены в Басаманском лесхозе Кустанайской области. Заложены 10 пробных площадей в культурах и 4 – в естественных сосняках. Культуры характеризуются двумя типами лесорастительных условий: влажный бор, Ia–II классы, и сухой бор, III класс бонитета, а все пробные площади естественных сосняков заложены в типе сухой бор, III–IV классы бонитета (табл. 1). Почвы в естественных сосняках – боровые, а в культурах – дерново-боровые и темно-каштановые с различным уровнем залегания грунтовых вод.

Пробные площади закладывались с учетом теоретических положений лесной таксации согласно ОСТ 56-69-83 «Пробные площади лесоустойчивые». Каждая пробная площадь закартирована. После отграничения пробной площади в культурах измеряемые расстояния между рядами и между деревьями в ряду наносились непосредственно на миллиметровку, а в естественных сосняках в качестве вспомогательных линий были натянуты шнуры в двух перпендикулярных направлениях с шагом в один метр, и в пределах каждого квадрата, нанесенного на миллиметровку, измеряли расстояние каждого дерева от его сторон. Измерялись штангенциркулем диаметры на высоте груди в двух направлениях с точностью до 1 мм, а также высоты и проекции крон в четырех направлениях всех деревьев с помощью рейки с делениями, кратными 10 см.

Таблица 1

Таксационные показатели искусственных и естественных сосняков на пробных площадях Аман-Карагайского бора

| Номер пробной площади | Таксационные показатели | | | | | | |
|-----------------------|-------------------------|----------------|------------------------|---------------------|-------------------|--|---------------------------|
| | Возраст, лет | Класс бонитета | Число деревьев на 1 га | Средний диаметр, см | Средняя высота, м | Сумма площадей сечений, м ² /га | Запас, м ³ /га |
| Культуры | | | | | | | |
| 8 | 22 | II | 4862 | 8,1 | 7,4 | 25,1 | 130 |
| 13 | 23 | I | 3826 | 11,0 | 10,2 | 36,1 | 220 |
| 20 | 25 | III | 8637 | 7,0 | 7,5 | 33,2 | 149 |
| 22 | 21 | III | 3238 | 7,7 | 5,5 | 15,0 | 54 |
| 23 | 20 | II | 6333 | 7,0 | 7,0 | 24,2 | 100 |
| 25 | 24 | Ia | 5340 | 10,5 | 11,4 | 46,5 | 295 |
| 26 | 22 | I | 4244 | 9,6 | 9,2 | 30,4 | 166 |
| 30 | 26 | I | 6085 | 8,8 | 9,9 | 36,7 | 192 |
| 49 | 19 | II | 4446 | 7,9 | 6,1 | 22,0 | 88 |
| 50 | 19 | Ia | 7002 | 9,0 | 9,5 | 44,2 | 233 |
| Естественные сосняки | | | | | | | |
| 1 | 20 | III-IV | 44430 | 3,0 | 4,6 | 32,2 | 111 |
| 2 | 20 | III-IV | 19760 | 3,6 | 4,3 | 19,8 | 63 |
| 3 | 20 | IV | 12286 | 3,3 | 3,4 | 10,3 | 36 |
| 6 | 22 | III | 43810 | 3,3 | 5,6 | 36,5 | 142 |

Используя эти данные, на планшет наносили проекции кроны каждого дерева. Принадлежность кроны к тому или иному дереву обозначалась с помощью стрелки, проведенной от ствола дерева на уровне поверхности земли до овальной проекции кроны. Результаты картирования (планшеты) оцифрованы, переведены в виртуальный формат с помощью графических компьютерных программ и на их основе выполнены все измерения, необходимые для расчета *CI* и радиусов конкурентного влияния – рас-

стояния от модельного (центрального) дерева до конкурентов на различном удалении, площади проекции крон и их взаимного перекрытия и др. (рис. 1 и 2). Использованы программы Adobe Photoshop, AutoCAD и CorelDRAW.

После завершения перечета деревьев с использованием рядов их распределения по диаметру осуществлялся отбор модельных деревьев для определения их фитомассы и годовичного прироста. Их брали в августе после полного формирования хвои в количестве от 8 до 10 на каждой пробной площади по ступеням толщины в пределах ее варьирования. Методика определения фракционного состава фитомассы и прироста ствола изложена ранее [25]. Все данные по четырем пробным площадям естественных сосняков взяты из работы А. С. Касаткина [26].

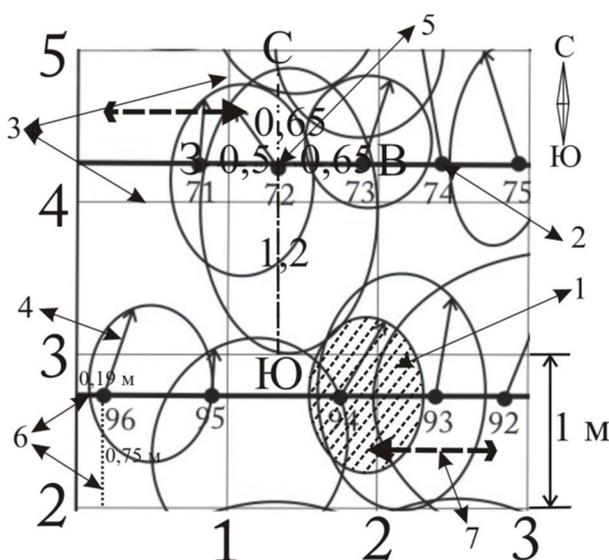


Рис. 1. Фрагмент оцифрованного плана пробной площади № 30: 1 – проекция кроны дерева; 2 – положение ствола дерева на уровне земли; 3 – вспомогательные горизонтальные и вертикальные линии; 4 – стрелка, показывающая принадлежность кроны к тому или иному дереву; 5 – распространение кроны по частям света, м; 6 – измерение координат стволов деревьев; 7 – направление движения маршрута при сплошном перечете

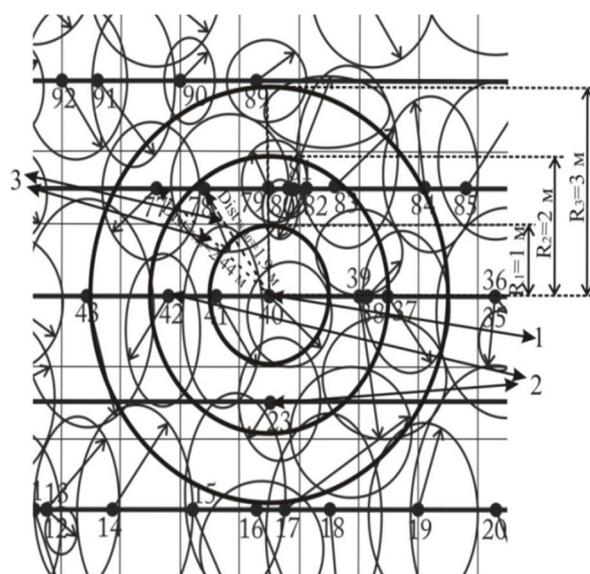


Рис. 2. Фрагмент пробной площади № 8, на котором показан принцип получения исходной информации для расчета СИ: 1 – ствол центрального дерева, (j); 2 – стволы конкурирующих деревьев (i); 3 – расстояние от центрального дерева до конкурентов, м

Результаты и их обсуждение. Для установления типа горизонтального распределения деревьев в насаждении, определяющего процесс их конкурентных взаимоотношений, нами выбрано три способа для сравнительного анализа типов горизонтальной структуры древостоев на наших пробных площадях: графический [17], расчетно-графический [18] и расчетно-математический [27], адаптированный к специфике нашей задачи. В качестве учетной площадки принят круг, в центре которого находилось модельное дерево, на котором выполнены все измерения. Принцип получения данных для расчетно-графического способа показан на рис. 3. Результаты расчетов по трем способам показали, что на пробных площадях преобладает групповое распределение деревьев, причем не только в естественных сосняках, в которых групповой характер выражен уже на этапе возобновления, но и в культурах.

Имеются работы, в которых выполнен сравнительный анализ различных СИ для оценки радиального прироста деревьев [11, 12, 21, 28,]. Коэффициенты R^2 уравнений связи прироста с СИ варьируют в пределах от 0,46 до 0,61, т.е. объясняют от 46 до 61 %

изменчивости прироста, причем наиболее сложные индексы не всегда являются и наиболее информативными. По данным В. В. Кузьмичева с соавторами [21], лучший результат при оценке текущего прироста деревьев дает метод Белла [5], однако он связан с очень большими трудностями при получении необходимых исходных данных, что исключает его практическое применение. Проведенный нами анализ существующих *CI* показал [29, 30], что к оптимальным, т.е. дающим наибольшую точность при наименьших затратах, можно отнести восемь индексов, предложенных в работах [4, 6, 7, 8, 12, 26, 30, 31] (табл. 2).

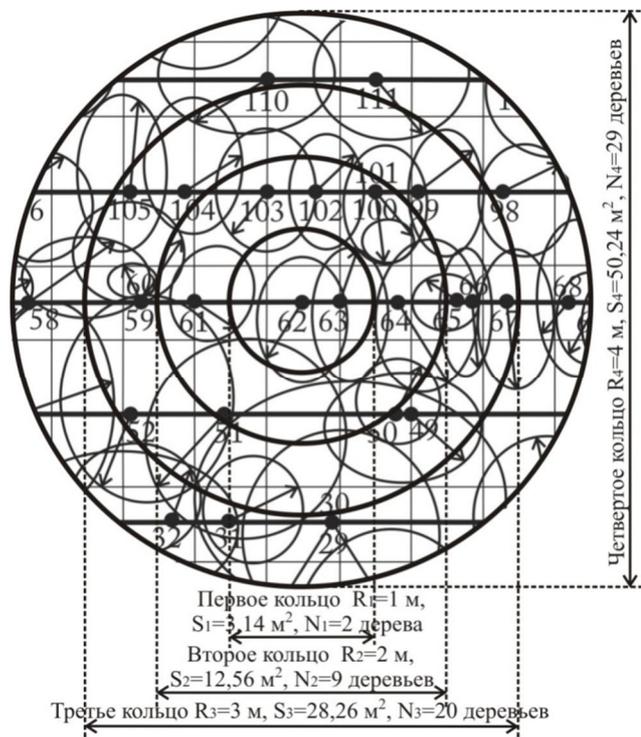


Рис. 3. Принцип получения данных для расчета радиальной функции распределения на примере ПП № 8

Таблица 2

Сводка формул для расчета индексов конкуренции

| Формула | Авторы | Обозначения |
|---|--------|--|
| $\sum_{i=1}^n Dist_{ij}$ | [33] | d_j и d_i – диаметр центрального j и конкурирующего i дерева; |
| $\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{d_j (Dist_{ij} + 1)}, (i \neq j)$ | [25] | h_j и h_i – высота центрального j и конкурирующего дерева i ; |
| $\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{h_j (Dist_{ij} + 1)}, (i \neq j)$ | [23] | $Dist_{ij}$ – расстояние между центральным деревом и конкурентом; |
| $\sum_{i=1}^n \left(\pi \left[\frac{d_j \times Dist_{ij}}{d_j + d_i} \right]^2 \left[\frac{d_i / Dist_{ij}}{\sum_{i=1}^n d_i / Dist_{ij}} \right] \right)$ | [20] | dcr_j и dcr_i – диаметры кроны центрального j и конкурирующего i дерева; |
| $\sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{d_j} \exp \left[\frac{16 \cdot Dist_{ij}}{d_j + d_i} \right] \right), (i \neq j)$ | [29] | lcr_j и lcr_i – длина кроны центрального j и конкурирующего дерева i ; |

О к о н ч а н и е т а б л . 2

| Формула | Авторы | Обозначения |
|--|--------|--|
| $\sum_{i=1}^n \frac{dcr_i}{dcr_j (Dist_{ij} + 1)}$ | [22] | exp – экспонента; k – величина от 0 до 1, k = 0, если радиус соседнего дерева i меньше, чем центрального j; k = 1, если радиус соседнего дерева i больше, чем центрального j |
| $U_j = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n k_{ij}$ | [26] | |
| $\sum_{i=1}^n \frac{lcr_i}{lcr_j (Dist_{ij} + 1)}$ | [7] | |

Поскольку доля объясненной изменчивости прироста посредством одного лишь *CI* относительно низкая, прогнозирование прироста может быть недостаточно надежным. Поэтому необходимо выяснить возможности повышения точности оценки как годового прироста ствола, так и фитомассы дерева, путем использования в качестве предикторов не только *CI*, но и массообразующих (таксационных) показателей деревьев на основе аллометрического метода [32].

Обычно при оценке биопродукционных показателей деревьев используются в качестве регрессоров их легко измеряемые массообразующие показатели: диаметр ствола (*D*, см) и высота дерева (*H*, м). С целью статистической проверки предположения о влиянии конкуренции на точность оценки фитомассы нами в качестве третьего фактора в регрессионное уравнение включено значение рассчитанного индекса конкуренции:

$$\ln(Pa) \text{ или } \ln(ZG) = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H + a_3 \ln CI, \quad (1)$$

где *Pa* – надземная масса дерева, кг; *ZG* – годичный прирост площади сечения ствола (мм^2), средний за последние пять лет.

Для каждой пробной площади рассчитано по 96 уравнений регрессии (2 зависимых переменных, 8 индексов конкуренции на шести радиусах влияния), а по всем пробным площадям – в культурах 960 и в естественных сосняках 384 уравнения. Составлены таблицы, в которых приведены диапазоны варьирования значений коэффициентов детерминации (R^2) в уравнениях (1). Диапазоны приняты исходя из максимального и минимального значений R^2 в рамках одной пробной площади и одного биопродукционного показателя. Установлено, что значение R^2 практически не зависит от способа, по которому рассчитан индекс конкуренции.

С целью проверки статистической значимости влияния индекса конкуренции на степень адекватности уравнений (1) проанализирована связь полученных значений R^2 с величиной радиуса влияния R_{inf} для совокупности трех наиболее приемлемых индексов конкуренции, предложенных в работах [7, 12, 29,]. Установлено, что оптимальное значение радиуса влияния существует, его величина в естественных сосняках меньше (около 2 м), чем в культурах (около 3 м) (рис. 4), что объясняется меньшей плотностью последних. Полученные результаты дают возможность оценки продукционных показателей деревьев в сосновых молодняках с учетом индексов конкуренции.

После выявления оптимальных радиусов влияния и соответствующих этим оптимумам максимальных значений индекса конкуренции путем регрессионного анализа нами проанализировано влияние последнего на фитомассу и годичный прирост дерева. Рассчитаны уравнения, в которые включены лишь размеры модельного дерева *D* и *H*:

$$\ln(Pa) \text{ или } \ln(ZG) = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H, \quad (2)$$

и сравнены характеристики уравнений (1) и (2). Установлено, что доля изменчивости продукционных показателей, объясняемых уравнениями (1), выше по сравнению с уравнениями (2): для надземной фитомассы на 5% и для годовичного прироста площади сечения ствола – на 11%. При регрессионной оценке прироста площади сечения в дубовых древостоях [23] соответствующее превышение варьировало в пределах 4–9 %, что, по крайней мере, не выше, чем в нашем исследовании. Сказанное означает, что использование индекса конкуренции с учетом оптимального радиуса влияния существенно повышает адекватность регрессионных уравнений продукционных показателей дерева.

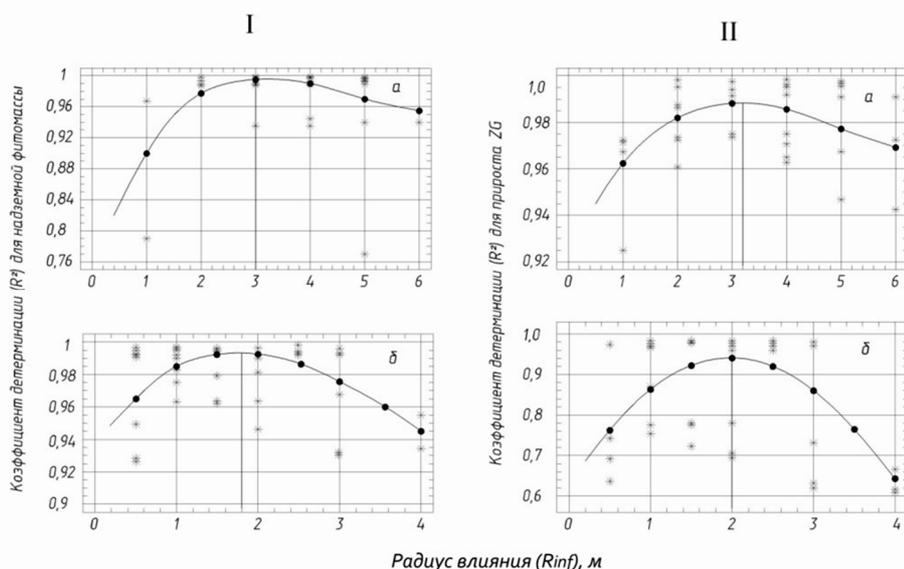


Рис. 4. Зависимость коэффициента детерминации уравнений (1) для культур (а) и естественных сосняков (б) от величины радиуса влияния;
I – для надземной фитомассы, II – для прироста площади сечения ствола

Выводы

1. В результате анализа многочисленных способов определения индекса конкуренции в насаждениях отобрано для последующего анализа восемь способов, наиболее приемлемых по соотношению их информативности и трудоемкости получения и в наибольшей степени соответствующих целям исследования.

2. С целью исключить зависимость величины радиуса влияния от размера дерева предложен метод оценки степени влияния конкуренции на фитомассу и прирост посредством их регрессионных моделей, включающих в себя в качестве независимых переменных не только индекс конкуренции, но и основные таксационные показатели дерева – диаметр ствола и высоту.

3. С целью установления статистической значимости влияния индекса конкуренции на степень адекватности регрессионных моделей, выражаемой коэффициентом детерминации R^2 , проанализирована связь полученных значений R^2 с величиной радиуса влияния R_{inf} . Установлено, что при увеличении радиуса влияния коэффициент детерминации регрессионных уравнений вначале возрастает, а достигнув максимума, по мере дальнейшего удаления от центрального дерева снижается.

4. Оптимальное значение радиуса влияния существует, его величина составляет в естественных сосняках меньше (около 2 м), чем в культурах (около 3 м), что объясняется меньшей густотой последних. Полученные результаты дают возможность оценки продукционных показателей деревьев в сосновых молодняках с учетом индексов конкуренции.

5. Использование индекса конкуренции с учетом оптимального радиуса влияния и горизонтальной структуры древостоя существенно повышает адекватность регрессионных уравнений, оценивающих продукционные показатели дерева.

Список литературы

1. Грабарник, П. Я. Моделирование пространственной структуры древостоев / П. Я. Грабарник // Моделирование динамики органического вещества в лесных экосистемах. – М.: Наука, 2007. – С. 132–146.
2. Сеннов, С. Н. Итоги экспериментального изучения конкуренции в древостоях / С. Н. Сеннов // Изв. С.-Петербургской лесотехнической академии. – СПб. – 1993. – С. 160–172.
3. Санникова, Н. С. Микроэкосистемный анализ ценопопуляций древесных растений / Н. С. Санникова. – Екатеринбург: Ин-т леса УрО РАН, 1992. – 63 с.
4. Alemdag, I. S. Evaluation of some competition indices for the prediction of diameter increment in planted white spruce / I. S. Alemdag // Canadian Forest Service Management Institute Inf. Rep. FMR-X-108. – 1978. – 39 p.
5. Bella, I. E. A new competition model for individual trees / I. E. Bella // Forest Science. – 1971. – Vol. 17. – No 3. – P. 364–372.
6. Biging, G. S. A comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees / G. S. Biging, M. Dobbertin // Forest Science. – 1992. – Vol. 38. – P. 695–720.
7. Hegyi, F. A simulation model for managing jack pine stands / F. Hegyi // Growth models for tree and stand simulation (J. Fries, ed.). – Royal College of Forestry, Stockholm, Sweden. – 1974. – Res. Note No. 30. – P. 74–90.
8. Hui, G. Y. Das Umgebungsmab als Parameter zur Nachbildung von Bestandesstrukturen / G. Y. Hui, M. Albert, K. Gadow // Forstwissenschaftlicher Centralblatt. – 1998. – Vol. 117. – P. 258–266.
9. Krajicek, J. Crown competition – a measure of density / J. Krajicek, K. Brinkman, S. Gingrich // Forest Science. – 1961. – No 1. – Vol. 8. – P. 35–42.
10. Newnham, R. M. The development of a stand model for Douglas-fir / R. M. Newnham // Ph.D. thesis, The Univ. of British Columbia. – Vancouver, 1964. – 201 p.
11. Pukkala, T. Competition indices and the prediction of radial growth in Scots pine / T. Pukkala, T. Kolström // Silva Fennica. – 1987. – Vol. 21. – No. 1. – P. 55–67.
12. Stadt, K. J. A comparison on non-spatial and spatial, empirical and resource-based competition indices for predicting the diameter growth of trees in maturing boreal mixed wood stands / K. J. Stadt, C. Huston, V. J. Lieffers // Department of Renewable Resources, University of Alberta. Project Report 2002-8. – Edmonton, 2002. – 32 p.
13. Галл, Я. М. Борьба за существование как фактор эволюции / Я. М. Галл. – Л.: Наука, 1976. – 156 с.
14. Грейг-Смит, П. Количественная экология растений / П. Грейг-Смит. – М.: Мир, 1967. – 360 с.
15. Ипатов, В. С. Количественный анализ ценоотических эффектов в размещении деревьев по территории / В. С. Ипатов, Т. Н. Тархова // Ботанический журнал. – 1975. – № 9. – С. 1237–1250.
16. Миркин, Б. М. Фитоценология. Принципы и методы / Б. М. Миркин, Г. С. Розенберг. – М.: Наука, 1978. – 211 с.
17. Плотников, В. В. Эволюция структуры растительных сообществ / В. В. Плотников. – М.: Наука, 1979. – 276 с.
18. Секретенко, О. П. Метод анализа пространственной структуры древостоев / О. П. Секретенко // Исследование структуры насаждения. – Красноярск: Институт леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1984. – С. 88–101.
19. Смуров, А. В. Статистические методы в исследовании пространственного размещения организмов / А. В. Смуров // Методы почвенно-зоологических исследований. – М.: Наука, 1975. – С. 217–240.
20. Галицкий, В. В. О моделировании продукционного процесса в растительном сообществе / В. В. Галицкий. – Пушкино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1980. – 48 с.
21. Кузьмичев, В. В. Оценка взаимодействия деревьев в лесных фитоценозах / В. В. Кузьмичев, Т. Н. Миндеева, В. П. Черкашин // Известия Сибирского отделения АН СССР. Серия биологических наук. – 1989. – № 3. – С. 133–139.
22. Миндеева, Т. Н. Факторы изменчивости радиального прироста в одновозрастных сосняках / Т. Н. Миндеева; Автореф. дис... канд. с.- х. наук. – Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева, 1995. – 20 с.
23. Moore, J. A. A new index representing individual tree competitive status / J. A. Moore, C. A. Budelsky, R. C. Schlesinger // Canadian Journal Forest Research. – 1973. – Vol. 3. – P. 495–500.

24. Грибанов, Л. Н. Леса Казахстана / Л. Н. Грибанов, И. А. Лагов, П. С. Чабан // Леса СССР. Т. 5. – М.: Наука, 1970. – С. 5–75.
25. Усольцев, В. А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения / В. А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 637с.
26. Касаткин, А. С. Влияние конкурентных отношений на точность оценки фитомассы и годового прироста деревьев в сосняках: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / А. С. Касаткин. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2009. – 23 с.
27. Donnelly, K. P. Simulation to determine the variance and edge-effects of total nearest neighbour distance / K. P. Donnelly // Hodder I. R. (Ed.), Simulation Methods in Archaeology. – Cambridge University Press. – London, 1978. – P. 91–95.
28. Ledermann, T. Effects of competitor spacing in individual-tree indices of competition / T. Ledermann, A. R. Stage // Canadian Journal Forest Research. – 2001. – Vol. 31. – P. 2143–2150.
29. Касаткин, А. С. Индексы конкуренции в лесных насаждениях / А. С. Касаткин, М. М. Семьшев // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2008. – Вып. 21. – С. 88–90.
30. Касаткин, А. С. Классификация индексов конкуренции в древостоях / А. С. Касаткин, В. А. Усольцев, М. М. Семьшев // Лесное хозяйство и зеленое строительство в Западной Сибири. – Томск: ТГУ, 2009. – С. 108–113; Усольцев, В. А. Биоэкологические аспекты таксации фитомассы деревьев / В. А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 1997. – 216 с.
31. Braathe, P. Height increment of young single trees in relation to height and distance of neighboring trees / P. Braathe // Mitteilungen fuer Forst Versuchswesen Anstalt. – 1980. – Vol. 130. – P. 43–48.
32. Martin, G. L. A comparison of competition measures and growth models for predicting plantation red pine diameter and height growth / G. L. Martin, A. R. Ek // Forest Science. – 1984. – Vol. 30. – P. 731–743.
33. Stadt, K. J. A comparison on non-spatial and spatial, empirical and resource-based competition indices for predicting the diameter growth of trees in maturing boreal mixed wood stands / K. J. Stadt // Department of Renewable Resources, University of Alberta. Project Report 2002–8. Edmonton, 2002. – 32 p.

Работа поддержана РФФИ, грант № 09-05-00508, и Программой Президиума РАН «Биологическое разнообразие».

Статья поступила в редакцию 11.05.10.

V. A. Ussoltsev, M. M. Semyshev

PRODUCTION CHARACTERISTICS WITH TAKING INTO ACCOUNT TREE COMPETITIVENESS OF ARTIFICIAL AND NATURAL PINE FORESTS: COMPARATIVE ANALYSIS

On the materials of 10 and 4 sampling areas, created in artificial and natural 20-year-old pure pine-forests of Aman-Karagai region (North Kazakhstan), competitiveness index influence on phytomass estimation accuracy and trunk annual growth of the tree were studied. With the aim to exclude radius size dependence of neighbours influence on the model tree, a phytomass and tree growth estimation method by means of regressive models including both competitiveness index and main taxation tree indexes – trunk diameter and tree height. It was found out that when a growing radius influence on determination coefficient of regression equations, at first it grows but having achieved the maximum and as far as further removal from the central tree, it reduces. The size of the optimal radius of influence is 1,8-2,0 m in natural pine forests, this figure is less than in the cultures (3,0 – 3,2), in connection with less density of the last mentioned.

Key words: forest stand, tree biomass, trunk annual growth, natural Scotch pine forest, pine cultures, allometric equation, competitiveness index.

УСОЛЬЦЕВ Владимир Андреевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры менеджмента Уральского государственного лесотехнического университета. Область научных интересов – лесная экология. Автор 400 публикаций.

E-mail: Ussoltsev50@mail.ru

СЕМЬШЕВ Михаил Маркелович – аспирант Уральского государственного лесотехнического университета. Область научных интересов – лесная экология. Автор шести публикаций.

E-mail: forst65@rambler.ru

УДК 630*587.6

*Э. А. Курбанов, О. Н. Воробьев, А. В. Губаев,
С. А. Лежнин, С. А. Незамаев, Т. Л. Александрова*

ОЦЕНКА ЗАРАСТАНИЯ ЗЕМЕЛЬ ЗАПАСА РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ ПО СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ

Проведена оценка площадей зарастания бывших сельскохозяйственных земель Республики Марий Эл молодняками сосны и березы по спутниковым снимкам высокого разрешения ALOS. Обработка и классификация спутниковых снимков проводилась в программных пакетах ENVI и ArcGIS. Полученные результаты свидетельствуют о значительных площадях зарастания земель запаса и перераспределения березовыми и сосновыми насаждениями, что особенно характерно для восточной части Республики Марий Эл.

Ключевые слова: *лесное хозяйство, естественные леса, дистанционное зондирование земли, спутниковые снимки, геоинформационные системы, земли запаса и перераспределения.*

Введение. Во второй половине XX века почти в 80 странах мира наблюдалось устойчивое сокращение сельскохозяйственных угодий. В период 1961–2003 гг. из оборота было выведено 223 млн. га сельскохозяйственных угодий. Больше всего таких земель в течение кризиса 1990-х годов потеряла Россия (58,3 млн. га), от которой совсем немного отстают Австралия (40,8 млн. га), США (35,6 млн. га) и Западная Европа (25,1 млн. га) [1].

В связи с общим ухудшением экономического состояния в сельскохозяйственном производстве, прекращением работ по мелиорации земель происходит сокращение площадей сельхозугодий, ухудшается состояние земель сельскохозяйственного назначения. В Республике Марий Эл площадь пашни, используемая сельскохозяйственными предприятиями, организациями и гражданами, только в 2008 году сократилась на 13 тыс. га в результате перевода в фонд перераспределения земель (*фонд перераспределения земель* формируется за счет земельных участков из земель сельскохозяйственного назначения, поступающих в этот фонд. Он создается в целях перераспределения земель для сельскохозяйственного производства, создания и расширения крестьянских (фермерских) хозяйств, личных подсобных хозяйств, ведения садоводства, животноводства, огородничества, сенокосения, выпаса скота в составе земель сельскохозяйственного назначения [2]) и запаса (к *землям запаса* относятся земли, находящиеся в государственной или муниципальной собственности и не предоставленные гражданам или юридическим лицам, за исключением земель фонда перераспределения земель. Использование земель запаса допускается после перевода их в другую категорию [2]), залежь, отвода земель для несельскохозяйственных нужд. Повсеместно происходит процесс зарастания пашни и естественных кормовых угодий кустарником и мелколесьем, что особенно заметно в Килемарском, Юринском, Сернурском и Параньгинском районах.

© Курбанов Э. А., Воробьев О. Н., Губаев А. В.,
Лежнин С. А., Незамаев С. А., Александрова Т. Л., 2010.

По сравнению с 2007 годом произошло уменьшение сельскохозяйственных земель на 37,3 тыс. га. Согласно официальной статистике [3], общая площадь земель сельскохозяйственного назначения, которая потенциально будет захвачена лесной растительностью в Республике Марий Эл при существующем сценарии развития экономики, может достичь 200 и более тысяч га, что составляет до 25 % от всех земель этого назначения.

Сокращение площади сельскохозяйственных угодий характерно практически для всех субъектов Российской Федерации [4]. По неофициальным оценкам, в ряде областей Нечерноземья (Псковская, Костромская, Ярославская, Вологодская и др.) в настоящее время заброшено и зарастает молодняками мягколиственных пород до 40–60 % пахотных земель, что подтверждается данными дистанционного зондирования. Для региона Верхнего Поволжья было установлено, что на начальных стадиях расселения растительности на лугах и залежах участвуют 10–12 видов древесно-кустарниковых пород, основными из которых являются береза, сосна, ива, ольха серая, осина [5]. Береза в большинстве случаев (до 40%) равномерно распределяется по площади поля и за считанные годы (3–6 лет) образует высокополнотное насаждение [6,7].

Установлено, что к 5–8-летнему возрасту на всех бывших сельскохозяйственных угодьях неравномерность возобновления леса ликвидируется (деревья равномерно распределены по всей площади участка) и начинает формироваться лесная среда [8]. На скорость зарастания влияют форма и ориентация поля в пространстве, а также характеристика опушки леса [9].

Много публикаций о проблеме зарастания сельхозугодий встречается в зарубежной литературе, особенно по исследованиям в тропических лесах [10, 11].

В Латвии с 1990-х г.г. произошло зарастание бывших сельскохозяйственных земель на площади более 3 млн. га [12]. Доминирующими породами на этих территориях являются лиственные древостои с преобладанием березы и ольхи серой.

В Австралии по снимкам Landsat было выявлено зарастание сельскохозяйственных угодий травянистой растительностью [13].

Целью работы является выявление бывших сельскохозяйственных участков (земли запаса и перераспределения), зарастающих молодняками березы и сосны на основе использования снимков высокого разрешения ALOS и данных наземных исследований, проведенных авторским коллективом в 2007–2009 гг. на территории различных районов Республики Марий Эл. Для выполнения этой цели были поставлены следующие задачи:

1) провести оценку зарастания бывших сельскохозяйственных земель породами пионерами (сосна, береза) на территории Оршанского, Юринского, Килемарского, Сернурского и Параньгинского районов РМЭ путем глазомерной таксации;

2) выявить эти участки на спутниковых снимках высокого разрешения ALOS для формирования дополнительных классов при создании «обучающей выборки» (testing site) в пакете ENVI [14] на исследуемых сценах.

3) создать тематическую карту исследуемых районов методом управляемой классификации и определить точность границ площадей зарастания молодняками березы и сосны с использованием программных продуктов ENVI и ArcGIS;

4) провести оценку точности созданных карт и определить общую площадь зарастания на землях перераспределения и запаса.

Методика исследований включает в себя два этапа: полевые и камеральные работы. В основу работ по выбору тестовых участков полевых исследований были положены следующие требования: 1) объекты должны быть бывшими землями сельскохозяйственного пользования и расположены в пределах сцен имеющихся спутниковых снимков; 2) с целью минимизации влияния антропогенного фактора выбирались участки, удаленные от интенсивного посещения местным населением. Полевые исследования проведены с июня по сентябрь 2008–2009 года [15].

Работа со спутниковыми снимками в программных комплексах (ПК) «ENVI-4.7» и «ArcGIS-9.3». Для получения информации о площадях зарастания бывших сельскохозяйственных земель проводились следующие этапы работ: 1) атмосферная коррекция снимков ALOS в пакете ENVI 4.7; 2) создание тематической карты в ПК ENVI-4.7; 3) оценка точности классификации; 4) векторизация тематической карты в ПК ENVI-4.7; 5) генерализация полигонального слоя тематической карты в ПК ArcMap; 6) определение площади зарастания земель запаса по векторным полигонам.

Тематическая карта распределения растительности на исследуемой площади получена методом управляемой классификации в программе ENVI-4.7 на основе обучающей выборки наших тестовых полевых участков, выделенных на снимках.

Пошаговая оценка точности классификации проводилась на основе расчета коэффициентов матрицы различий (Confusion Matrix) и коэффициента Каппа (Kappa Index) [16], которые наиболее используются в современной научной литературе.

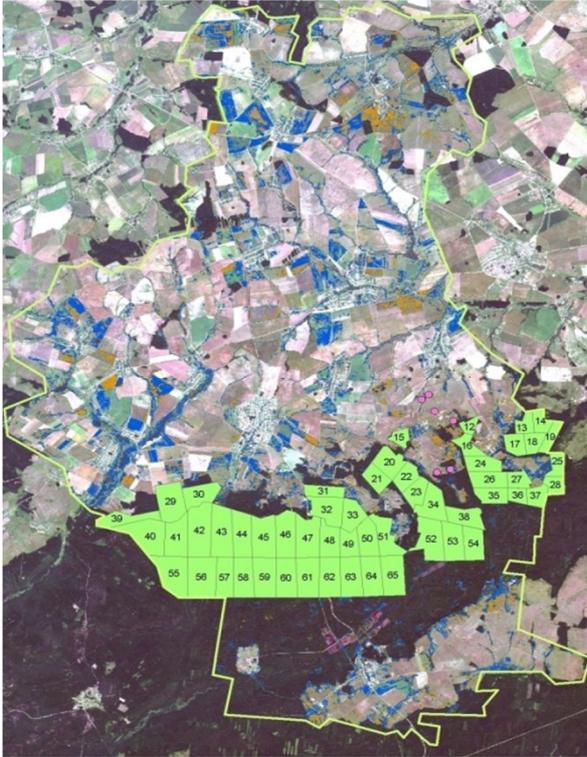
Следующим этапом работ была векторизация – трансформация растрового изображения тематической карты в векторный слой в виде шейп-файла в программе ENVI-4.7. Каждый слой растительного покрова имеет свой цвет в соответствии с заданным классом легенды тематической карты. Полученные полигональные слои молодняка сосны и березы на землях запаса и перераспределения показали высокое дробление на мелкие участки. Степень генерализации составила более 0,5 га (полигоны менее 0,5 га не учитывались).

Результаты исследований. Тематические карты-схемы земель запаса и перераспределения, основанные на спутниковых снимках ALOS, прошли проверку на точность в соответствии с критериями, применяемыми большинством современных ученых, работающих в области геоинформационных систем и дистанционного зондирования. Коэффициент Каппа в большинстве случаев достигал 0,75–0,85, что свидетельствует о высоком соответствии проведенной классификации на снимках полевым (эталонным) данным. Такая точность проведенных натуральных и камеральных исследований позволяет рекомендовать полученные карты-схемы лесохозяйственному производству Республики Марий Эл.

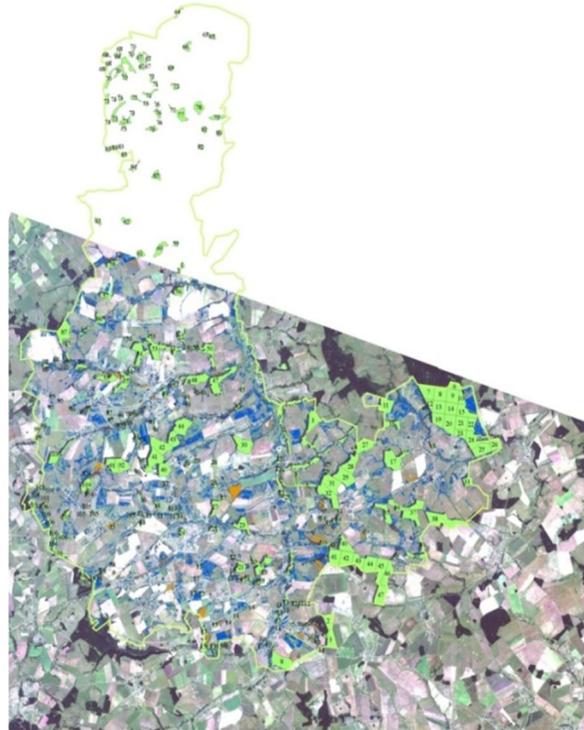
Анализ карт лесной растительности на землях запаса и перераспределения, составленных на основе спутниковых снимков ALOS, позволил сделать выводы о масштабах происходящих сукцессий для различных районов Республики Марий Эл. В частности, большие территории зарастания молодняками березы и сосны на землях запаса и перераспределения были выявлены на территории Параньгинского и Сернурского муниципальных районов Республики Марий Эл (рис., а, б). Сосновые молодняки, расположенные в пределах двух сцен спутниковых снимков ALOS занимают общую площадь 12,9 тыс. га, в то время как березовые молодняки на землях запаса и перераспределения этого региона являются преобладающими, достигая по площади 30,5 тыс. га.

В Оршанском и Килемарском муниципальных районах на брошенных сельскохозяйственных землях доминируют естественные березовые молодняки, площадь которых в пределах сцены спутникового снимка ALOS и карты-схемы составляет 5,6 и

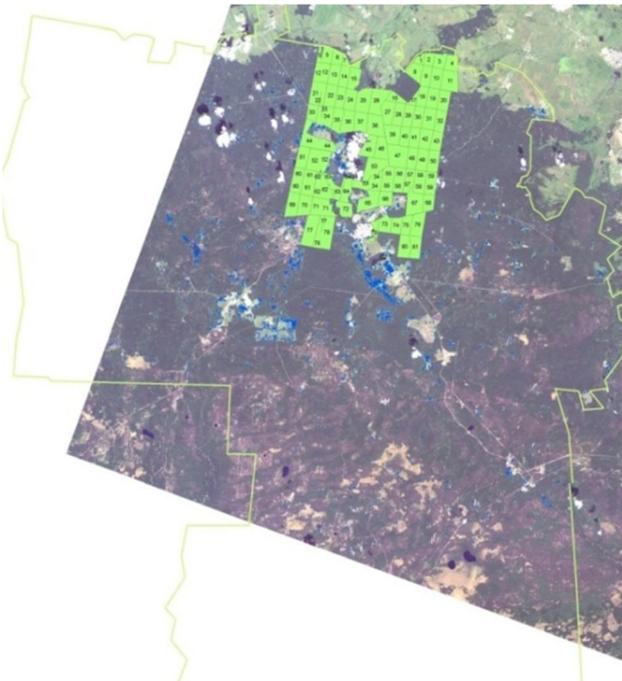
3,7 тыс. га соответственно (рис., в). Сосновые молодняки на землях запаса и перераспределения этих районов практически не встречаются, что было подтверждено многочисленными полевыми данными.



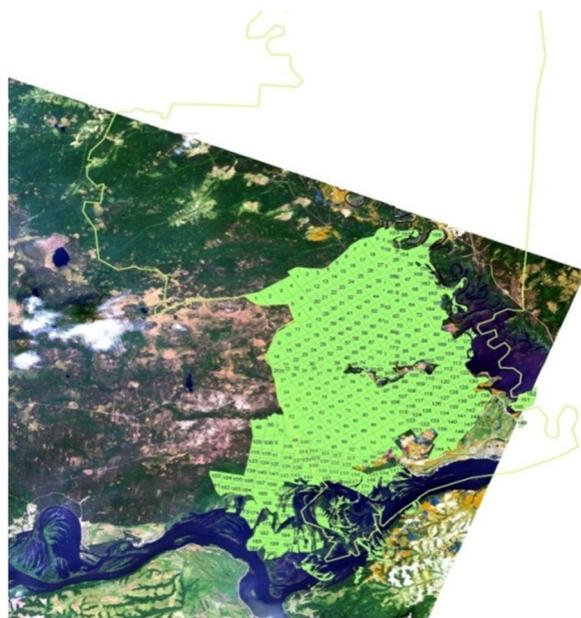
а)



б)



в)



г)

Карты-схемы, составленные на основе спутникового снимка ALOS, территорий

*Параньгинского (а), Сернурского (б), Килемарского (в) и Юринского районов (г):
синий цвет – зарастающие площади бывших сельхозугодий молодняками березы,
оранжевый цвет – молодняки сосны, фиолетовые отметки – места закладки пробных площадей*

В Юринском муниципальном районе на землях запаса и перераспределения, расположенных в основном на песчаных почвах вдоль реки Ветлуги, больше встречается молодняков сосны (2,3 тыс. га), чем березы (1,2 тыс. га). На территории лесного фонда Юринского лесничества береза в основном захватывает открытые участки (сенокосы, прогалины, вырубки и свежие гари) (рис., г), на которых полностью или частично прекращена хозяйственная деятельность местных жителей и работников лесничества.

Результаты исследования показывают, что спутниковые снимки ALOS высокого разрешения имеют высокую практическую значимость для классификации и картографирования лесных насаждений в РМЭ. В частности, они могут быть успешно применены для решения задач по выявлению и оценке площадей бывших сельскохозяйственных земель, зарастающих лесной растительностью. Береза является доминирующей породой на этих землях, в то время как сосна захватывает в основном территории на супесчаных почвах.

Естественные процессы зарастания земель запаса и перераспределения лесной растительности продолжаются в Республике Марий Эл уже второе десятилетие. На этих землях происходит формирование высокополнотных продуктивных березовых и сосновых насаждений. Возврат этих земель в сельскохозяйственное пользование потребует вклада значительных ресурсов для вырубки и раскорчевки молодых лесных насаждений. В связи с этим более целесообразно переводить такие участки в лесной фонд ближайших лесничеств, что позволит усилить охрану этих насаждений и повысить эффективность использования земель. Кроме того, увеличение лесного фонда лиственных и смешанных насаждений, которые являются более устойчивыми к лесным пожарам, будет также благоприятно сказываться на пожароопасной ситуации в Республике Марий Эл.

В классическом лесоводстве общепризнанной является аксиома о том, что естественное возобновление леса, в отличие от искусственных посадок, позволяет также сохранять их генетическое и биологическое разнообразие, сформировавшиеся на занимаемых лесом территориях в течение нескольких столетий. Естественные насаждения более устойчивы к болезням и вредителям. Кроме того они дают много других дополнительных выгод – рекреационных, климатических (Киотские леса) [17], экономических (недревесная и древесная продукция леса). Авторский коллектив продолжает работу по оценке бывших сельскохозяйственных земель других районов Республики Марий Эл, что позволит сделать более глубокие и комплексные выводы о происходящих изменениях.

Список литературы

1. Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота / под ред. акад. Г. А. Романенко. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 64 с.
2. Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ <http://www.consultant.ru/popular/earth/> (дата обращения: 09.08.10).
3. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Марий Эл за 2008 г. / Министерство сельского хозяйства, продовольствия и природопользования Республики Марий Эл. – Йошкар-Ола, 2009. – 210 с.
4. Гульбе, А. Я. Процесс формирования молодняков древесных пород на залежи в Южной тайге: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / А. Я. Гульбе. – М., 2009. – 23 с.
5. Уткин, А. И. О наступлении лесной растительности на сельскохозяйственные земли в Верхнем Поволжье / А. И. Уткин, Т. А. Гульбе, Я. И. Гульбе, Л. С. Ермолова // Лесоведение. – 2002. – №5. – С. 44–52.

6. Гульбе, А. Я. Надземная фитомасса и годовичная продукция соснового насаждения на брошенной пашне в подзоне южной тайги / А. И. Гульбе // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сборник научных трудов по итогам международной научно-технической конференции. – Вып. 17. – Брянск: БГИТА, 2007. – С. 50–53.

7. Аткина, Л. И. Структура надземной фитомассы естественных молодняков и культур сосны Челябинской области / Л. И. Аткина, О. А. Петелина // Лесной комплекс: состояние и перспективы развития. – Вып. 3. – Брянск: БГИТА, 2002. – С. 3–6.

8. Балашкевич, Ю. А. Заращение бывших сельскохозяйственных земель древесной растительностью / Ю. А. Балашкевич // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сборник научных трудов по итогам международной научно-технической конференции [под ред. Е. А. Памфилова]. – Вып. 13. – Брянск: БГИТА, 2006. – С. 4–6.

9. Курбанов, Э. А. Распределение фитомассы березы на землях запаса в Республике Марий Эл / Э. А. Курбанов, Л. С. Устюгова, А. Гретшель и др. // Сборник материалов международной конференции по проекту Темпус «LAREMA». – Ташкент, 2010. – С. 25–31.

10. Lugo, A. E. Emerging forests on abandoned land: Puerto Rico's new forests / A. E. Lugo, E. Helmer // Forest Ecology and Management. – 2004. – № 190. – P.145–161.

11. Feldpausch, T. R. Carbon and nutrient accumulation in secondary forests regenerating in Central Amazonia / T. R. Feldpausch, M. A. Rondon, E. C. M. Fernandes and othes // Ecological Applications. – 2004. – № 14(4). – P. 164–176.

12. Liepins, K. Naturally afforested agricultural lands in Latvia – assessment of available timber resources and potential productivity / K. Liepins, A. Lazdins, D. Lazdina and othes // Environmental engineering. Proceedings of the 7th international conference, 2008. – P. 194–199.

13. Lawes, R. A. Monitoring an invasive perennial at the landscape scale with remote sensing / R. A. Lawes, J. F. Wallace // Ecological Management & Restoration. – 2008. – №9. – P. 53–59.

14. Программный комплекс ENVI: Учебное пособие. – М.: «Совзонд», 2009. – 320 с.

15. Курбанов, Э. А. Пространственная динамика фитомассы березняков на бывших сельскохозяйственных землях Марийского Заволжья / Э. А. Курбанов, О. Н. Воробьев, Л. С. Устюгова и др. // Лесной журнал. – 2010. – №3. – С. 8–14.

16. Verbula, D. L. Satellite remote sensing of natural resources / D. L. Verbula // CRC Press. – 2000, Levis Published. – P. 198.

17. Курбанов, Э. А. К вопросу об углерододепонирующих насаждениях / Э. А. Курбанов, О. Н. Воробьев, Л. С. Мошкина, А. В. Губаев, С. А. Лежнин, С. А. Незамаев // Вестник МарГТУ. Серия «Лес. Экология. Природопользование». – 2008. – №3 – С. 5–17.

Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы, ГК № 02.740.11.5202 Министерства образования и науки Российской Федерации «Региональная оценка методов картирования растительного покрова по спутниковым снимкам» и ГК № 02.740.11.0838 «Разработка и реализация алгоритмов передачи, обработки и анализа данных дистанционного зондирования лесных покровов для автоматических расчетов фитомассы растительности и пулов углерода»

Статья поступила в редакцию 16.08.10.

*E. A. Kurbanov, O. N. Vorobyev, A. V. Gubayev,
S. A. Leznin, S. A. Nezamayev, T. L. Alexandrova*

ESTIMATION OF REFORESTATION OF MARI EL REPUBLIC ABANDONED AGRICULTURAL LANDS BY SATELLITE IMAGES

Estimation of reforestation on the abandoned agricultural lands by pine and birch trees in Mari El Republic with the use of high resolution satellite pictures ALOS was carried out. Processing and classification of the satellite pictures were provided in ENVI and ArcGIS program packages. The results show significant amount of reforested areas of the abandoned agricultural lands with pine and birch. In particular, it is a typical situation for the eastern part of Mari El Republic.

Key words: forestry, natural forests, earth remote sensing, satellite pictures, geo information systems, abandoned agricultural lands.

КУРБАНОВ Эльдар Аликрамович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства МарГТУ, руководитель Центра устойчивого управления лесами. Область научных интересов – устойчивое управление лесами, биологическая продуктивность лесных экосистем, депонирование углерода лесными экосистемами, дистанционное зондирование земли, леса Киото. Автор 90 публикаций.

E-mail: kurbanovea@marstu.net

ВОРОБЬЕВ Олег Николаевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства МарГТУ. Область научных интересов – дистанционное зондирование лесов, депонирование углерода лесными экосистемами, мониторинг лесных экосистем. Автор 23 публикаций.

E-mail: vorobievon@marstu.net

ГУБАЕВ Александр Владимирович – соискатель кафедры лесоводства МарГТУ. Область научных интересов – дистанционное зондирование земли, биологическая продуктивность лесных экосистем. Автор 11 публикаций.

E-mail: galex@marstu.net

ЛЕЖНИН Сергей Анатольевич – аспирант кафедры лесоводства МарГТУ. Область научных интересов – дистанционное зондирование земли, биологическая продуктивность лесных экосистем. Автор 14 публикаций.

E-mail: lejninsa@marstu.net

НЕЗАМАЕВ Сергей Александрович – программист кафедры лесоводства МарГТУ. Область научных интересов – дистанционное зондирование земли, биологическая продуктивность лесных экосистем. Автор десяти публикаций.

E-mail: nezamaevsa@marstu.net

АЛЕКСАНДРОВА Татьяна Леонидовна – программист кафедры лесоводства МарГТУ. Область научных интересов – дистанционное зондирование земли, биологическая продуктивность лесных экосистем. Автор пяти публикаций.

E-mail: alexandrovatl@marstu.net

УДК 630*161(581.5):517.927.4

A. Kasimov, A. Hildebrandt, Yu. Obnosov

IMPACT OF THE DHOFAR CLOUD FOREST ON SUBSURFACE HYDROLOGICAL FLUXES: MODELLING ON THE SCALE OF A NEAR-ROOT ZONE SOIL CONTINUUM

A slope forest in a semi-arid region of Oman is studied. The peculiarity of this ecosystem is an interception of the liquid (fog and drizzle) by the tree canopy from a monsoon wind during a three-month monsoon period. The intercepted water drips on the soil from the foliage and stem over the area of the projection of the canopy. The moisture accumulates in the soil profile and is used by the tree long after the monsoon. Capillarity and gravity drives moisture to the water table. A modified Green-Ampt model of vertical infiltration is suggested, with a cyclostationary «self-drip-irrigation», vertically non-uniform water uptake by the tree roots and the possibility of stopping of the fronts of a descending water slug owing to non-equal capillary pressures on the imbibition and drainage fronts of the slug.

Key words: *deciduous cloud forest, arid/semi-arid region, hillslope vegetation, orographic rain, root water uptake, infiltration, Darcy law, Green-Ampt model.*

Introduction. In arid and semi-arid climates, which we, following [1], call water-limited environments (WLE), the soil moisture, salinity and temperature stresses determine the performance of plants. In these environments emerge interesting patterns of soil water, which are associated with the spatial distribution of vegetation [2]. In comparison with crops, pastures, grasslands or shrublands, forests are usually considered more water demanding [3]. In WLE higher water consumption of trees or shrubs is often explained by the ability of deep rooted vegetation (such as perennial trees or shrubs) to access water from a deep wet soil and even directly from the water table [4] (other plants with lower water use and with shallower roots can not do this). As a result of a combined water uptake by the roots from the soil, deep vadose zone and aquifer, the experimental data [1] in Kalahari showed that on the scale of 0-60 m from the top soil to the water table the moisture content decreases in the first few meters, then remains almost constant (for approximately 5–25 m from the surface) and then increases again (25–60 m) close to the capillary fringe, with a full saturation on the phreatic surface. This «trough»-shaped moisture profile is attributed to the vertical water-hunting activity of deep tree roots.

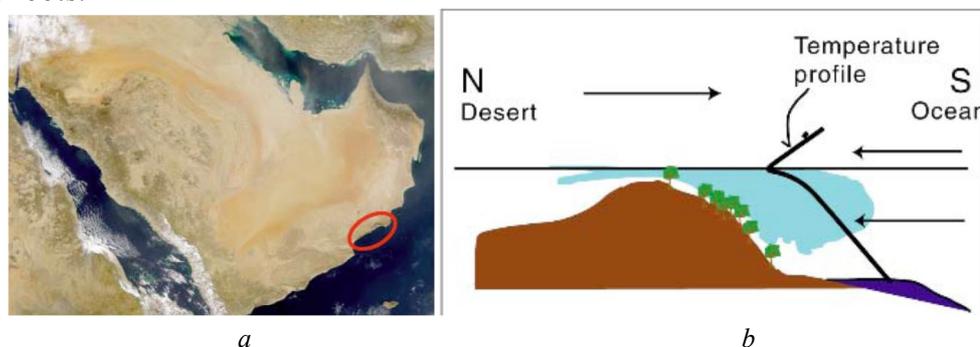


Fig. 1. Satellite image of the study area (a) and vertical section of the mountain ridge, forest, monsoon and temperature profile (b)

In this paper we consider infiltration (and water uptake) of a semi arid forests in South-West Oman, in the governorate of Dhofar (in Fig.1, *a* a wide oval illustrates the study area on the the Arabian peninsula). The Dhofar cloud forests are extraordinary eco-hydrological systems, since their existence depends on their ability to self irrigate their root zone through interception of cloud water by the tree crowns [5, 6]. A vertical cross-section of the forest belt is shown in Fig.1b. The forests thrive in a seasonal climate with a 3 months humid (and foggy) season, which lasts from mid June to mid September, followed by a 9 months dry season. The characteristic monsoon fog is caused by orographic clouds, which are formed when moist air from the sea is pushed up against the coastal mountain range from South to North. The annual precipitation in this area is 250 mm, most of which falls during the monsoon in the form of light drizzle (on the average 2mm /day). The other major source of rainfall is cyclones, which – due to high intensity and prevailing runoff – seem, however, not to penetrate the deep soils as thoroughly as the precipitation during the monsoon [7] concluded that water, received below the tree crowns, consists of about one third of rainfall and two thirds of intercepted cloud water. This leads to a pattern where more soil water infiltrates below the tree crowns as compared to a bare soil.

A typical deciduous tree is shown in Fig. 2. Trees of this type may form a cluster with overlapping canopies.



Fig. 2. A typical tree of the cloud forest in the study area

It is noteworthy that the tree-induced drip self-irrigation in Dhofar forests guided the local engineers to install a net-mesh devices mimicking the canopy as fog-drizzle collectors with up to 58 liters/day/m² of the mesh water condensate productivity (see, e.g., [8]).

Cloud interception is reported from many cloud forests (i.e. [9, 10]), but particularly in semiarid cloud forests, the additional water may substantially contribute to maintaining lush vegetation in a comparatively dry environment [11–14, 6]. To the best of our knowledge, in earlier works on fog forests (both humid and semi-arid) the dynamics of dripped/infiltrated water in the soil and vadose zone has not been studied in detail and only occasional measurements/modeling of the soil moisture (or capillary pressure), evaporation rate from the soil surface and soil temperature were reported. This is understandable because collecting field data from the whole soil- vadose zone – capillary fringe profile in the vicinity of a tree is instrumentally cumbersome. Indeed, belowground hydrological sensing, e.g. with TDR, C- or Theta-probes would require a good vertical density of instruments in a borehole. Even piezome-

ters (deep in WLE) should be close to the tree trunk and well adjusted to intermittent recharge pulses from the vadose zone subjacent to the tree, with a good separation of the superjacent tree-generated recharge pulses from regional groundwater flow fluctuations or cyclicity. So, the objective of this paper is to develop a simple mathematical model, applicable to field conditions (i.e. having as few parameters as possible), that would predict the following fog-forest specific infiltration scenarios: depth-time- varying input from the soil surface, depth-time-varying water uptake by the tree roots, and ascending direction of the travel of the moisture content maximum as in [15]. The model should predict how the water content varies with time and depth, in particular, the «trough» –type moisture profile of [1].

Physical and Mathematical Model. We consider a tree of a fog-forest and neglect the interference of the drip zones of neighbouring trees (Fig. 3). Alternatively, Fig. 3, a can be viewed as a tree cluster with an «effective canopy» (and «effective» infiltration). The real dripping intensity, i_d , radially decreases from the axis of the infiltration zone (stem flow «funnel») to the periphery of the canopy projection on the ground surface. Outside the throughfall zone (of radius R and area A) the intensity of background precipitation, i_b , does not vary with the radial coordinate r counted from the stem axis. Both i_d and i_b depend on time. The dependence $i_d(r)$ is seldom measured and we assume in the model that $i=I_d(t)$ is an average value for both the stemflow and throughfall integrated over r .

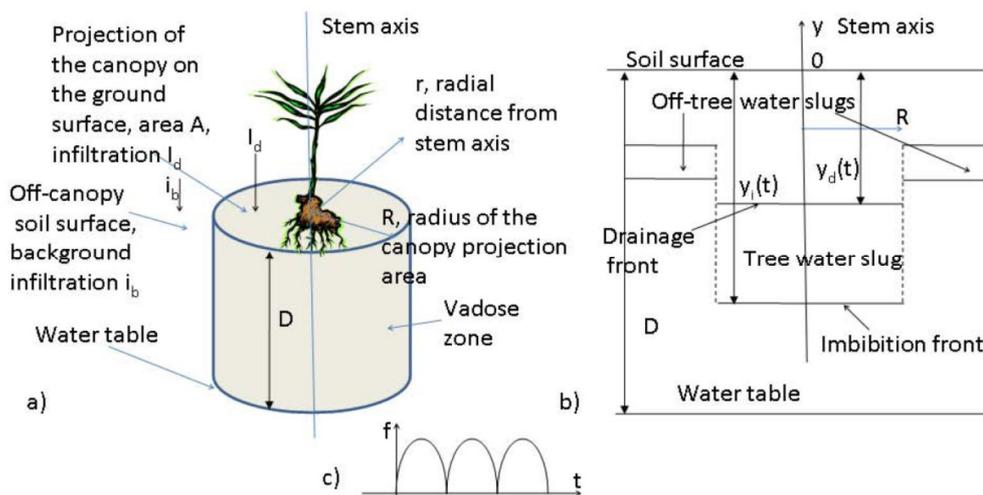


Fig.3. 3-D schematization of tree and subjacent soil (a), axial cross-section of the subsurface with water fronts (b), cyclostationary component of water uptake function by roots (c)

We assume the following: For one monsoon period I_d continues from $t=0$ till $t=T=const$. Outside this time interval $I_d=0$. The intensity of infiltration during $0 < t < T$ is high enough so the soil surface is completely saturated. At $t=0$ a saturation (imbibition) front $y_i(0)$ appears and propagates downward as $y_i(t)$ with a vertical axis of a Cartesian coordinate system oriented upward. A purely vertical infiltration takes place and we adapt the Green and Ampt (GA) model [16] both in the under-canopy zone and outside this zone. Without any loss of generality, we suppose that during the monsoon period, transpiration is relatively small and the water uptake from the saturated zone is negligible (corresponding to [7]). Then for assumed 1-D infiltration the position of the front over the interval $0 < t < T$ in both zones is described by the well known analytical solution of Polubarinova-Kochina [17]. The focus of our modelling exercise is in what happens after $t=T$, i.e. after the end of the monsoon, when infiltration ceases and transpiration starts.

When $t > T$ another upper desaturation (drainage) front, $y_d(t)$, $y_d(0)=0$ is formed. Obviously, $y_d(t) < y_i(t)$ and this inequality should hold for any time. The four fronts are shown in Fig. 3, b

(vertical axial cross-section of Fig. 3, *a*) and we neglect the smearing effect on the cylindrical surface separating the zones of contrasting infiltration rate (dashed lines in the Fig. 3, *b*). For the sake of brevity we will study two under-tree fronts only. We track y_i until the instance T_a when this advancing front arrives at the water table (depth D). After that time a groundwater mound is formed [17] and the GA model does not work.

We assume that the porous medium is homogeneous, isotropic and incompressible, water is incompressible and flow obeys the Darcy law. We introduce the pressure head $p=h-y$ where $h(y,t)$ is the hydraulic head within the water slug located in between the two fronts, $y_i(t) < y < y_d(t)$. The basic assumptions of the GA model are: a) in the slug water is under tension but completely saturates the pore space, b) the hydraulic conductivity in the slug is $k=\text{const}$ that coincides with the saturated conductivity, c) water moves in the slug only, i.e., ahead of the advancing front and behind the retreating front $k=0$.

The GA model postulates that on the front $p=-p_c = \text{const}$. This front pressure head is one of two physical parameters of the model (another is k). Both p_c and k are tabulated for common porous materials (see, e.g. [17]). In our case of a two-front slug in Fig. 1 we assume

$$p=-p_i \text{ at } y=y_i, \quad p=-p_d \text{ at } y=y_d, \quad (1)$$

where p_d and p_i are two given positive constants. Commonly, $p_d > p_i$ that on the meniscus level of an individual soil pore corresponds to a higher contact angle of the advancing front compared to the retreating one. In our model, however, the inequality can mathematically have an opposite sign.

From the Darcy law the specific discharge $q(y, t)$ is:

$$q = -k \frac{dh}{dy}. \quad (2)$$

We assume that water is lost from the moving phase of the slug to an immobile (with respect to the soil) storage, which is prevalently due to the uptake by the roots but can also involve sorption into a stagnant film around once wetted soil particles (or water interception in dead-end pores). The intensity of this «sink» tapping the Darcian water is $E(y, t)$. From conservation of mass the total vertical discharge through any vertical cross-section of the cylinder in Fig.1, *a* is $Q=A q$ and we have

$$\frac{dQ}{dy} = E(t, y). \quad (3)$$

Thus E in (3) is the intensity of interception of vertical descending seepage into an immobile liquid (root) compartment. Within the roots the moisture keeps moving (upward, laterally or downward, see [1]) but this in-root motion does not affect the GA motion in the soil. A similar model with a distributed sink term is used in the Dupuit-Forchheimer approximation of prevalently horizontal groundwater flow in an unconfined aquifer [17]. In our case E also should be small enough for the basic model assumption of vertical infiltration to hold. Integration of (3) yields:

$$\int_{-D}^0 E(t, y) dy = Q_s(t),$$

where Q_s is the total liquid flow rate, diverted from seepage to roots. We will assume that all Q_s are converted into the sap flow, i.e. thus ignoring tree root internal storage and evaporation from the upper front. Moreover, this assumption ignores a potentially complex topology of water motion within the root system [1], which one can hardly measure.

Combining (2) and (3) we get the governing equation

$$\frac{d^2h}{dy^2} = -e(t, y), \quad (4)$$

where $e=E/(A k)$. This equation is similar to one for the water table dynamics in an unconfined aquifer with a spatially nonuniform and transient recharge [17].

We assume

$$e(t, y) = e_0 f(t) \exp[\alpha y], \quad (5)$$

where α is a constant, characterizing the root system, and $f(t)$ is a function, characterizing a season-dependent uptake of the whole root continuum (one example of this function is shown in Fig. 3, c). Instead of an exponential decrease of the uptake with depth, in (5) any other function can be taken (see, e.g. [18]). If $f=\text{const}$ and $\alpha=0$ then the water uptake is steady and uniform within the travelling slug. We recall that the GA limitations require that neither capillarity nor uptake create unsaturated conditions in the slug.

Integration of (4) gives:

$$h(t, y) = c_1(t) + c_2(t)y - e_0 f(t) \exp[\alpha y] / \alpha^2, \quad (6)$$

where c_1 and c_2 are two functions which are expressed from the boundary conditions (1) applied on both fronts:

$$h(t, -y_i(t)) = c_1(t) - c_2(t)y_i(t) - e_0 f(t) \exp[-\alpha y_i(t)] / \alpha^2 = -y_i(t) - p_i \quad (7)$$

$$h(t, -y_d(t)) = c_1(t) - c_2(t)y_d(t) - e_0 f(t) \exp[-\alpha y_d(t)] / \alpha^2 = -y_d(t) - p_d.$$

Eqns (7) make a system of two linear equations with respect to c_1 and c_2 from which we immediately obtain by eliminating c_2 the following expression:

$$c_2(t) = 1 + \frac{p_i - p_d}{y_i - y_d} - \frac{e_0 f(t) (\exp[-\alpha y_i] - \exp[-\alpha y_d])}{\alpha^2 (y_i - y_d)}. \quad (8)$$

The expression for c_1 and elimination of this function follows from the first equation in (7).

On the fronts the linear average velocity and Darcian velocity are related through the so-called kinematic boundary conditions [17]:

$$m_i \frac{dy_i(t)}{dt} = k \frac{dh(t, -y_i(t))}{dy} = k [c_2 - e_0 f(t) \exp[-\alpha y_i(t)] / \alpha] \quad (9)$$

$$m_d \frac{dy_d(t)}{dt} = k \frac{dh(t, -y_d(t))}{dy} = k [c_2 - e_0 f(t) \exp[-\alpha y_d(t)] / \alpha],$$

where m_d and m_i are constant effective porosities on the corresponding fronts. Normally $m_d < m_i$ (if the slug propagates through a dry soil) but mathematically the sign of this inequality can be opposite. Eqns. (9) constitute a system of two ordinary nonlinear differential equations [19] with respect to $y_i(t)$ and $y_d(t)$, c_1 and c_2 taken from eqns (7)–(8). Without any loss of generality we rescale time as $t_i = t - T$ and drop « r » as a subscript. Then the initial conditions for eqn. (9) are:

$$y_d(0) = 0, y_i(0) = y_0, \quad (10)$$

where y_0 is a given monsoon-wetting depth, which we retrieve from the monsoon stage of infiltration.

If both fronts asymptotically (effectively) stop before reaching the depth D then the slug «hangs» in the vadose zone, waiting for the next-season stronger slug to come, overtake the stopped one and resume the descending motion as a «merged» slug. If $f(t)$ is high enough then the drainage front eventually catches the imbibition one. Mathematically, the Cauchy problem can be solved for any $|y_i(t)| < |y_d(t)|$ but physically this inequality is unrealistic. If it appears from integration of (9)–(10) this means that the GA model becomes inapplicable, i.e. a tension-saturated flow can not be realized. Then an unsaturated flow model should be used as in e.g. [15].

Modeling Results. For a free standing tree 3 m of the canopy projection radius is a large crown. In Gogub site of Dhofar the average distance between trunks is 2.5m. The trees there are arranged in clusters, one cluster containing five and more stems in a very small area (1 m radius). The average distance between the clusters is much larger (about 5 m). In computations below we selected 1.5 m as the crown radius i.e. a tree density of 0.14.

Soil properties under the trees varied and systematic hydropedological studies were not undertaken in the study area. For the modeling below we assumed that the soil is a laveen loam (43% sand, 44% silt, 13% clay according to the USDA taxonomy [20]). From experiments in [20] $k=0.216$ m/day, $p_d=0.47$ m, $p_i=0.22$ m. Without any loss of generality we assumed $D=20$ m, $m_d=0.2$, $m_i=0.3$.

The annual rainfall outside the canopy is about 100 mm. Annual precipitation over the canopy projection is 300 mm/year [7]. In computations based on [7] we assumed that 85% of precipitation in both zones (canopy-covered and bare) goes for transpiration. For the selected crown radius this gives 1750 liters/year/tree under the canopy. For comparison, the most common fruiting tree in the region, date palm, consumes 30–50 thousand liters of water through regular irrigation. Most of the water uptake in the Dhofar forest occurs after the end of the monsoon until a certain instance when water becomes limiting and transpiration decays [7]. It is noteworthy that irrigation of date palms and other crops requires thorough scheduling over season with the range of irrigation 50–150 l/day (winter–summer) that is time, labour and instrument consuming. The natural forest does self-irrigation spontaneously.

The following balance equation holds:

$$\int_0^{365} Q(t)dy = 1.75 \text{ m}^3$$

wherefrom we calculated e_0 assuming different values of α . Experimental data for α are not available for our trees. Along with the exponentially decreasing uptake – depth function other «integrable» functions can be included into the model, for example, linear ones as in [21].

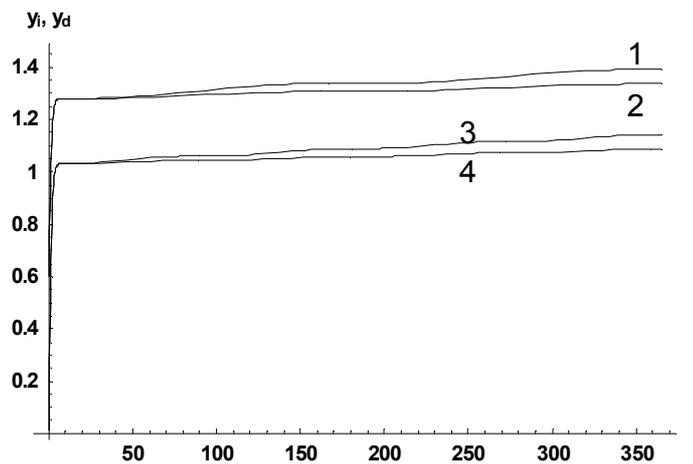


Fig.4. Dynamics of fronts for two different α

In Fig.4 the fronts y_i and y_d are shown as functions of t in the interval $0 < t < 365$ days for a cyclostationary sink with $f(t)=\sin^2(\omega t)$, $\omega=2 \pi/182.5$ 1/day. We solve eqns. (9)–(10) as a Cauchy problem using a standard Runge-Kutta **NDSolve** routine of computer algebra [23]. We fixed $y_0=0.6$ m and selected $\alpha=0.1$ ($e_0=0.00064$) and $\alpha=2$ 1/m, ($e_0=0.013$). Curves 1 and 2 correspond to the imbibition fronts and curves 3–4 indicate the drainage fronts for these two α values. As we can see from the graphs, the fronts decelerate with fluctuations (the slugs

shrink). Our computations also showed that with the increase of the initial slug thickness its migration rate increases. Hydrological implications of this dynamics are clear: in Darcian flows inertia is neglected [17] and therefore the motion of two consecutive slugs can be studied by specifying their initial positions only. If a larger «new» slug moves faster it may catch up a smaller one. Then two slugs merge and move even faster to the water table.

Discussion and Conclusion

Soil moisture distribution and its dynamics in the soil profile are vitally important for the flora in WLE. Cloud forests in arid/semi-arid climates of the Arabian peninsula in the Dhofar region of Oman live in unique hydrological niches. The forest in this region is highly susceptible to variations of the precipitation fluxes, which are characterized by a 3-month long monsoon duration and annual cyclicality. Precipitation consists of two components: (1) Orographic low-intensity rain (drizzle) and (2) fog collection (turbulent deposition of cloud droplets). Fog collection leads to heterogeneous infiltration: Under tree canopies infiltration is estimated to be twice as high, compared to the off-canopy surroundings. The latter leads to temporary and radially varying compartmentalization of water in the root zone.

The forest-enhanced precipitation stimulates the biota and possibly contributes to the recharge of the water table. Net precipitation under the tree canopies has been estimated to be around 300 mm over the entire 2004 monsoon season. The transient subsurface storage accumulated during the monsoon is consumed later by evapotranspiration (net ascending flux) and is composed of the gravitational, capillary and viscous (Darcian) forces (net descending flux). In this paper we predict how much out of the 300 mm net precipitation might reach the aquifer, provided the water uptake by the tree roots varies with depth and time that results in a «trough-shaped» moisture profiles with depth.

We considered the monsoon-generated soil moisture volume as a shrinking parcel, which travels through the vadose zone, and implemented the Green-Ampt type model on the scale of a near-trunk cylindrical porous column. Water motion is characterized by two fronts (drainage and imbibition) and soil water removal by the roots. The advancing front flux is greater than the retreating one. The ordinary differential equations for the front loci are solved numerically, and the possibility of water table recharge is estimated.

If the slugs reach the water table, then groundwater mounds (axisymmetric with respect to the tree roots) emerge and decay cyclostationary. The possibility for the deep tree roots to be immersed into the capillary fringe should be assessed in the future. If the forest is approximated as a regular (e.g., chess-board) pattern of trees without interference of adjacent trunk-centered moisture parcels, then the catchment-scale recharge of the aquifer can be evaluated, in particular, the effect of a partial uphill deforestation (for example due to cattle browsing or infections) on the drop of the groundwater level and hence capillary fringe. The latter may induce further stress on phreatophytic species in the downhill zone.

References

1. *Lubczynski, M. W.* The hydrogeological role of trees in water-limited environments / M. W. Lubczynski // *Hydrogeology J.* – 2008. – V.17. – P. 247–259.
2. *Brown, G.* Community composition and population dynamics in response to artificial rainfall in an undisturbed desert annual community in Kuwait / G. Brown // *Basic Appl. Ecol.* – 2002. – V. 3. – P. 145–156.
3. *Van Dijk, A. I. J. M.* Planted forests and water in perspective / A. I. J. M. Van Dijk // *Forest Ecology and Management.* – 2007. – V.251 – P. 1–9.
4. *Steward, D. R.* An analytic solution for groundwater uptake by phreatophytes spanning spatial scales from plant to field to regional / D. R. Steward, T. S. Ahring // *Journal of Engineering Mathematics.* – 2009. – V. 64. – P.85–103.
5. *Hildebrandt, A.* Forest on the edge: Seasonal cloud forest in Oman creates its own ecological niche / A. Hildebrandt, E. A. B. Eltahir // *Geophys. Res. Lett.* – 2006. – V. 33. – L11401.

6. *Hildebrandt, A.* Using a horizontal precipitation model to investigate the role of turbulent cloud deposition in survival of a seasonal cloud forest in Dhofar / A. Hildebrandt, E. A. B. Eltahir // *J. Geophys. Res.* – 2008. – V. 113. – G04028.
7. *Hildebrandt, A.* Ecohydrology of a seasonal cloud forest in Dhofar: 1. Field experiment / A. Hildebrandt, M. A. Al-Aufi, M. Amerjeed and othes // *Water Resources Research* . – 2007. – V. 43. – W10411.
8. *Abdul-Wahab, S. A.* Total fog and rainwater collection in the Dhofar region of the Sultanate of Oman during the monsoon season / S. A. Abdul-Wahab, A. M. Al-Damkhi, H. Al-Hinai and othes // *Water International*. – 2010. – V. 35. – P.100–109.
9. *Bruijnzeel, L. A.* Hydrology of tropical montane cloud forests: A reassessment / L. A. Bruijnzeel // *Land Use and Water Resources Research*. – 2001. – V. 1. – P. 1.8–1.18.
10. *Foster, P.* The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests / P. Foster // *Earth-Science Reviews*. – 2001. – V. 55. – P. 73–106.
11. *Hursh, C. R.* Field moisture balance in the Shimba Hills, Kenya / C. R. Hursh, H. C. Pereira // *The East African Agricultural Journal*. – 1953. – V. 18. – P. 139–148.
12. *Juvik, J. O.* Relationship between rainfall, cloud-interception, and canopy throughfall in a Hawaiian montane forest / J. O. Juvik, D. Nullet // *In Tropical Montane Cloud Forests*. – 1995, edited by L. S. Hamilton, et al., Springer Verlag. – New York, 1995.
13. *Hutley, L. B.* Water balance of an Australian subtropical rainforest at altitude: The ecological and physiological significance of intercepted cloud and fog / L. B. Hutley, D. Doley, D. J. Yates, A. Boonsaner // *Australian Journal of Botany*. – 1997. – V. 45. – P. 311.
14. *del-Val, E.* Rain forest islands in the chilean semiarid region: Fog-dependency, ecosystem persistence and tree regeneration / E. del-Val, J. J. Armesto, O. Barbosa and othes // *Ecosystems*. – 2006. – V. 9. – P. 598–608.
15. *Philip, J. R.* Redistribution of soil water from plane, line, and point sources / J. R. Philip, J. H. Knight // *Irrigation Science*. – 1989. – V. 12. – P. 169–180.
16. *Kacimov, A. R.* The Green-Ampt 1-D infiltration from a ponded surface into a heterogeneous soil / A. R. Kacimov, S. Al-Ismaily, A. Al-Maktoumi // *J. Irrigation and Drainage ASCE*. – 2010. – V. 136(1). – P. 68–72.
17. *Polubarinova-Kochina, P. Ya.* Theory of Ground-water Movement / P. Ya. Polubarinova-Kochina. – Princeton: Princeton Univ. Press, 1962.
18. *Jarvis, N. J.* A simple empirical model of root water uptake / N. J. Jarvis // *J. Hydrology*. – 1989. – V. 107. – P. 57–72.
19. *Ince, E. L.* Ordinary Differential Equations / E. L. Ince // Longmans, Green and Co. – London, 1926.
20. *Bouwer, H.* Rapid field measurements of air entry value and hydraulic conductivity of soil as significant parameters in flow system analysis / H. Bouwer // *Water Resources Research*. – 1966. – V.2. – P. 729–738.
21. *Molz, F. J.* Extraction models of soil moisture use by transpiring plants / F. J. Molz, I. Remson // *Water Resources Research*. – 1970. – V.6. – P. 1346–1356.
22. *Prada, S.* Fog precipitation and rainfall interception in the natural forests of Madeira Island (Portugal) / S. Prada, M. M. de Sequeira, C. Figueira, M. A. da Silva // *Agricultural and Forest Meteorology*. – 2009. – V. 149. – P. 1179–1187.
23. *Wolfram, S.* Mathematica. A System for Doing Mathematics by Computer / S. Wolfram. – Addison-Wesley, Redwood City, 1991.

Статья поступила в редакцию 03.08.10.

А. Р. Касимов, А. Хильдебрандт, Ю. В. Обносков

ВЛИЯНИЕ СКЛОНОВОГО ЛЕСА ОМАНА (РЕГИОН ДОФАР), ПИТАЕМОГО ОСАДКАМИ ИЗ ТУМАНА, НА ПОДЗЕМНЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ: МОДЕЛИРОВАНИЕ В МАСШТАБЕ КОРНЕВОЙ ЗОНЫ

Рассматривается склоновый лес полуаридной зоны в Омане, особенностью которого является перехват кроной деревьев жидкости (тумана и осадков слабой интенсивности) из муссонного ветра в течение трех месяцев в году. Эта вода капает с листьев на землю по площади проекции кроны и стекает по стволу, в результате чего влага аккумулируется в прикорневой зоне почвы и используется деревом в течение длительного постмуссонного периода. За счет капиллярности и гравитации почвенная вода дрейфует к зеркалу грунто-

вых вод. Предложена модифицированная математическая модель Грина-Ампта для вертикального влагопереноса в зоне питания дерева, которая учитывает циклоstationарность процесса «капельного самоорошения», неравномерный по глубине перехват влаги распределенными корнями дерева и возможность остановки движения воды за счет неодинаковых капиллярных давлений в зоне промачивающего и дренирующего фронтов.

Ключевые слова: листопадный туманный лес, засушливый/полузасушливый регион, склоновая растительность, орографический дождь, забор влаги корнями растений, закон Дарси, модель Грина-Ампта.

КАСИМОВ Анвар Рашидович – кандидат физико-математических наук, профессор, декан факультета гидрологии, почвоведения и сельхозинжиниринга Университета Султана Кабуса (Оман). Область научных интересов – течения в пористых средах. Автор более 130 публикаций.

E-mail: anvar@squ.edu.om

ХИЛЬДЕБРАНДТ Анке – младший профессор по экологическому моделированию Института наук о Земле, Университет Фридриха Шиллера, Йена, Германия. Область научных интересов – измерения и моделирование забора влаги корнями растений, интерпретация полей почвенной влаги, обратные методы моделирования движения влаги в почве, взаимоотношения между структурой экосистем и вертикальным потоком воды из атмосферы в почву и обратно, динамика растительности в полуаридном климате. Автор семи публикаций.

E-mail: anke.hildebrandt@ufz.de

ОБНОСОВ Юрий Викторович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой дифференциальных уравнений Казанского Федерального университета. Область научных интересов – краевые задачи теории голоморфных функций и их приложения в задачах механики сплошных сред. Автор более 130 публикаций.

E-mail: yobnosov@ksu.ru

УДК 630*237.2:582

В. В. Пахучий

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЛЕСА В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА В РЕСПУБЛИКЕ КОМИ

Приведены результаты сравнения производительности леса, выраженной средним приростом стволовой древесины, в лесничествах Республики Коми в середине прошлого и начале текущего столетия. Для выравнивания прироста использованы обобщенные факторы. Обобщенные факторы интерпретированы по десяти климатическим параметрам. Установлено увеличение среднего прироста стволовой древесины с 0,99 м³/га в год в 1961 г. до 1,23 м³/га в год в 2008 г. Увеличение прироста связывается в основном с изменением климата.

Ключевые слова: *производительность леса, изменение климата, прирост древесины, климат.*

Введение. Вопрос о возможности глобального изменения климата обсуждается с конца прошлого столетия [1, 2]. По мнению ряда авторов, наиболее вероятно повышение средней температуры воздуха на 3–5°С и увеличение количества осадков на 7–16% [2–4]. Предполагается, что в Канаде и Скандинавии северная граница бореальных лесов может переместиться на север на расстояние до 700 км [4]. В Финляндии были разработаны модели, позволяющие прогнозировать изменение продуктивности лесов в связи с ожидаемым изменением климата, даны соответствующие рекомендации о целесообразности коррекции программ рубок ухода, охраны лесов от энтомовредителей, грибных заболеваний и т.д. [5]. В связи с тем, что именно для северных территорий изменение климата может иметь особое значение, актуально изучение этих процессов для Европейского Севера в целом и слагающих его регионов, в частности, Республики Коми.

Целью работы являлась оценка тенденций изменения климата в Республике Коми и возможного влияния этих изменений на производительность насаждений за последние полвека. Для достижения поставленной цели были сформулированы вопросы, предполагающие установление величины среднего прироста в лесхозах республики в середине прошлого и начале текущего столетия. Сравнивались климатические показатели в рассматриваемые периоды. Оценивались взаимосвязи между приростом и климатическими характеристиками. При этом учет влияния на величину прироста параметров, характеризующих климат, осуществлялся на основе факторного, корреляционного и множественного регрессионного анализов.

Методика и объекты. В работе выполнена оценка взаимосвязей среднего прироста насаждений по материалам лесоустройства по состоянию на 1961 и 2008 гг. с климатическими характеристиками в начале 60-х годов прошлого и начале текущего столетия. В первом случае в качестве учетной единицы был принят лесхоз. Использовали средний прирост древесины в лесных массивах [6]. Характеристика климатических условий 27 лесхозов приведена по десяти параметрам [7]. Во втором случае в качестве учетной единицы принято лесничество. Средний прирост древесины в лесных массивах взят из Лесного плана Республики Коми [8]. Используются новые климатические характеристики [9]. Следует отметить, что наиболее существенно при сравнении ранее использованных и новых климатических показателей отличается количество атмосферных осад-

ков и величина испарения. С целью комплексной оценки влияния климатических факторов на прирост использовали факторный анализ. Матрицы факторных нагрузок рассчитаны методом главных факторов.

Результаты и обсуждение. В результате факторного анализа, выполненного на основе показателей (табл. 1), характеризующих климат Республики Коми первой половины прошлого столетия [7], установлено следующее.

Т а б л и ц а 1

Климатические показатели первой половины XX столетия и матрица факторных нагрузок

| Параметр | Обобщенные факторы | |
|---|--------------------|--------|
| | Ф1 | Ф2 |
| Продолжительность периода со среднесуточной температурой более 5°C, дней | 0,989 | -0,001 |
| Продолжительность периода со среднесуточной температурой более 10°C, дней | 0,989 | 0,054 |
| Средняя многолетняя температура воздуха в июне, °C | 0,958 | 0,169 |
| Средняя многолетняя температура воздуха в июле, °C | 0,924 | -0,197 |
| Средняя многолетняя температура воздуха в августе, °C | 0,899 | 0,251 |
| Сумма температур за период с температурой воздуха (среднесуточной) более 10°C | 0,980 | 0,097 |
| Продолжительность безморозного периода, дней | 0,864 | 0,235 |
| Годовая сумма осадков, мм | 0,718 | -0,561 |
| Испарение с суши, мм | 0,969 | 0,031 |
| Гидротермический коэффициент (по Селянинову) | 0,197 | -0,939 |

Большая часть суммарной дисперсии может быть учтена обобщенными факторами Ф1, Ф2. Обобщенный фактор Ф1 учитывает около 77% суммарной дисперсии. Для Ф1 наиболее высоки вклады параметров, характеризующих температурный режим в отдельные месяцы и периоды, а также параметра «испарение с суши». Известно, что испарение в значительной степени связано с температурным режимом. Во всех случаях связь характеризуется положительной направленностью. В связи с вышеизложенным Ф1 интерпретирован как обобщенный фактор теплообеспеченности. Обобщенный фактор Ф2 учитывает около 14% суммарной дисперсии параметров, отражающих статьи прихода влаги или рассчитанных с использованием сумм осадков (гидротермический коэффициент). Связь данных параметров с Ф2 отрицательная, т.е. противоположная по направленности по сравнению с параметрами, определяющими содержание Ф1. Обобщенный фактор Ф2 можно интерпретировать как обобщенный фактор влагообеспеченности.

Факторы Ф1 и Ф2 были использованы для выравнивания среднего прироста в лесхозах Республики Коми по состоянию на 1961 г. [6] по уравнению (1):

$$Y = 0,989 + 0,123\Phi_1 + 0,060\Phi_2 \quad (1)$$

(N=27; R=0,97; R²=0,94; F=200,8; F_{0,001}=6,8),

где Y – средний прирост в лесхозах Республики Коми в 1961 г., м³/га в год;
Ф1, Ф2 – обобщенные факторы (табл. 1).

При выполнении факторного анализа по данным на конец прошлого столетия [9] установлено, что в данном случае большая часть суммарной дисперсии также может быть учтена обобщенными факторами Ф1, Ф2. При этом обобщенный фактор Ф1 учитывает около 75% суммарной дисперсии, а Ф2 – около 17%. Ф1 и Ф2 интерпретируются аналогично вышерассмотренному варианту интерпретации, т.е., Ф1 – это обобщенный фактор теплообеспеченности, а Ф2 – обобщенный фактор влагообеспеченности (табл. 2.).

Т а б л и ц а 2

Климатические показатели второй половины XX столетия и матрица факторных нагрузок

| Параметр | Обобщенные факторы | |
|---|--------------------|--------|
| | Ф1 | Ф2 |
| Продолжительность периода со среднесуточной температурой более 5°C, дней | 0,985 | 0,033 |
| Продолжительность периода со среднесуточной температурой более 10°C, дней | 0,979 | -0,035 |
| Средняя многолетняя температура воздуха в июне, °C | 0,984 | -0,017 |
| Средняя многолетняя температура воздуха в июле, °C | 0,974 | -0,003 |
| Средняя многолетняя температура воздуха в августе, °C | 0,980 | 0,099 |
| Сумма температур за период с температурой воздуха (среднесуточной) более 10°C | 0,987 | 0,023 |
| Продолжительность безморозного периода, дней | 0,833 | 0,393 |
| Годовая сумма осадков, мм | 0,277 | -0,845 |
| Испарение с суши, мм | 0,955 | -0,082 |
| Гидротермический коэффициент (по Селянинову) | 0,129 | -0,875 |

Факторы Ф1 и Ф2 использовали для выравнивания среднего прироста в лесничествах Республики Коми по состоянию на 2008 г. [8] по уравнению (2):

$$Y = 1,232 + 0,205\Phi_1 + 0,016\Phi_2 \quad (2)$$

$$(N=27; R=0,91; R^2=0,82; F=56,1; F_{0,001}=6,8),$$

где Y – средний прирост в лесничествах Республики Коми в 2008 г., м³/га в год; Ф1, Ф2 – обобщенные факторы (табл. 2).

По уравнениям (1), (2) рассчитали средний прирост в лесхозах Республики Коми в 1961 г. и лесничествах республики в 2008 г. Прирост в Корткеросском участковом лесничестве Корткеросского лесничества и Сыктывкарском лесничестве, равные в 1961 и 2008 гг. соответственно 1,29 и 1,69 м³/га в год, приняли за 1,0, а приросты в других лесничествах выразили в долях от него (табл. 3).

Сравнение выровненных приростов и расчетных коэффициентов относительной продуктивности (табл. 3) показывает, что приросты и коэффициенты уменьшаются при движении с юга на север и от западных границ Республики Коми к Уральскому хребту. Это отражает общую тенденцию изменения лесорастительных условий в республике, связанную с широтными зональными различиями и усилением континентальности климата в направлении с запада на восток. Необходимо также учитывать, что наиболее высокие части Урала характеризуются арктическими условиями [9].

Средняя величина коэффициентов отличается незначительно (0,77 и 0,73). В то же время наблюдается значительное увеличение абсолютных значений среднего прироста в лесничествах Республики Коми. Так, если в 1961 г. средний прирост в целом для республики составлял 0,99 м³/га в год, то по последним оценкам лесоустройства в 2008 г. – 1,23 м³/га в год. Допуская сохранение такой тенденции и экстраполируя величину прироста на ½ периода с 1961 по 2008 гг., можем допустить, что к 2031 г. средний прирост составит 1,35 м³/га в год.

Выше указывалось, что обобщенные факторы Ф1 и Ф2 объясняют от 82 до 94 % изменчивости среднего прироста в республике. Это свидетельствует об определяющем вкладе климатических показателей в динамику прироста. Определенное значение, видимо, может иметь также изменение структуры лесопользования. В любом случае, вряд ли оправданным было бы рассматривать факт увеличения прироста в последние десятилетия только как результат ведения лесного хозяйства в регионе. В то же время заслуживает внимания вопрос количественной оценки соотношения вклада в изменение

прироста собственно климата, лесохозяйственной деятельности и изменения структуры лесопользования. Видимо, целесообразно было бы планирование комплекса специальных исследований, на основании которых могли быть приняты решения о коррекции объемов лесохозяйственных работ и методов оценки их эффективности, учитывающие климатические изменения. Для условий Республики Коми аналогичные работы могут быть выполнены в связи с анализом эффективности осушительной гидромелиорации, так как по данному направлению имеется материал для сравнительного анализа [10].

Т а б л и ц а 3

**Прирост древесины и коэффициенты относительной продуктивности
в лесничествах Республики Коми**

| Лесничество | Средний прирост, м ³ /га в год | | Коэффициент относительной продуктивности | |
|-------------------|--|---------|---|---------|
| | 1961 г. | 2008 г. | 1961 г. | 2008 г. |
| Усть-Цилемское | 0,47 | 0,24 | 0,36 | 0,14 |
| Ижемское | 0,52 | 0,49 | 0,40 | 0,29 |
| Каджеромское | 0,49 | 0,61 | 0,38 | 0,36 |
| Печорское | 0,13 | 0,08 | 0,10 | 0,05 |
| Ёртомское | 0,92 | 1,01 | 0,71 | 0,60 |
| Удорское | 0,89 | 0,96 | 0,69 | 0,57 |
| Вымское | 0,93 | 0,89 | 0,72 | 0,53 |
| Сосногорское | 0,89 | 0,86 | 0,69 | 0,51 |
| Вуктыльское | 0,38 | 0,57 | 0,29 | 0,34 |
| Ухтинское | 0,86 | 0,89 | 0,67 | 0,53 |
| Троицко-Печорское | 0,97 | 1,16 | 0,75 | 0,69 |
| Печоро-Илычское | 0,76 | 0,90 | 0,59 | 0,53 |
| Айкинское | 1,17 | 1,48 | 0,91 | 0,88 |
| Железнодорожное | 0,97 | 1,38 | 0,75 | 0,82 |
| Сторожевское | 1,06 | 1,36 | 0,82 | 0,80 |
| Помоздинское | 1,08 | 1,27 | 0,84 | 0,75 |
| Усть-Немское | 1,26 | 1,54 | 0,98 | 0,91 |
| Комсомольское | 0,92 | 1,29 | 0,71 | 0,76 |
| Сыктывдинское | 1,29 | 1,78 | 1,00 | 1,05 |
| Сыктывкарское | 1,29 | 1,69 | 1,00 | 1,00 |
| Корткеросское | 1,28 | 1,56 | 0,99 | 0,92 |
| Усть-Куломское | 1,23 | 1,53 | 0,95 | 0,91 |
| Сысольское | 1,36 | 1,84 | 1,05 | 1,09 |
| Койгородское | 1,36 | 1,94 | 1,05 | 1,15 |
| Кажимское | 1,40 | 1,92 | 1,08 | 1,14 |
| Прилузское | 1,39 | 2,01 | 1,08 | 1,19 |
| Летское | 1,42 | 2,11 | 1,10 | 1,25 |
| Среднее | 0,99 | 1,23 | 0,77 | 0,73 |

Примечание. В таблице сохранено наименование лесхозов по состоянию на 01.01.1991 г. Коэффициенты относительной продуктивности для Междуреченского, Мещурского, Усинского, Локчимского, Прутского лесхозов (с 2007 г. – лесничеств) могут быть рассчитаны методом интерполяции.

Реальна оценка влияния изменения климата на процессы естественного возобновления. В данной области лесоводственных исследований также имеются достаточные региональные наработки [11, 12]. В том, что связано с рубками ухода, охраной лесов от энтомофитов, грибных заболеваний, на данном этапе, видимо, возможны только экспертные оценки. При этом учет климатических изменений целесообразен как в северных районах, где происходит перемещение северной границы леса [4, 5], так и южных районах республики, для которых характерно наиболее значительное абсолютное

увеличение прироста (табл. 3). Разработанная система коэффициентов относительной продуктивности, учитывающая изменение климата в республике за последний полувек, может быть использована при сравнении лесоводственного эффекта от лесохозяйственных мероприятий в различных географических районах Республики Коми.

Таким образом, большая протяженность республики с севера на юг, влияние горного Урала обуславливают пространственную изменчивость лесорастительных условий на ее территории. Кроме этого, с течением времени лесорастительные условия в регионе изменяются в связи с глобальным изменением климата. Поэтому следует считать целесообразным учет этих изменений для обеспечения объективных оценок лесного фонда, при выборе объектов для выполнения лесохозяйственных работ и оценке их эффективности в связи с географическим положением объектов на территории Республики Коми.

Выводы

1. Большая часть суммарной дисперсии климатических показателей для лесничеств Республики Коми может быть учтена обобщенными факторами Ф1, Ф2. Ф1 интерпретирован как обобщенный фактор теплообеспеченности, а Ф2 – как обобщенный фактор влагообеспеченности.

2. Обобщенные факторы Ф1, Ф2 объясняют от 82 до 94% изменчивости среднего прироста в лесничествах Республики Коми. Это свидетельствует об определяющем вкладе климатических показателей в динамику среднего прироста в целом для республики.

3. За период с 1961 по 2008 гг. средний прирост в Республике Коми увеличился с 0,99 до 1,23 м³/га в год. Прогнозируемый средний прирост в 2031 г. – 1,35 м³/га в год.

4. Сравнение лесоводственного эффекта от лесохозяйственных мероприятий в различных географических районах Республики Коми возможно на основе системы коэффициентов относительной продуктивности, учитывающей изменение климата в республике за последний полувек.

Список литературы

1. *Pearse, F.* Warmer winters fit greenhouse model / F. Pearse // *New Science*. – 1991. – Vol. 129 (1752). – P. 20.
2. *Joyce, C.* America counts the cost of global warming / C. Joyce // *New Science*. – 1988. – Vol. 1636. – P. 26.
3. *Gribbin, J.* An assault on the climate consensus / J. Gribbin // *New Science*. – 1990. – Vol. 1747. – P. 26–31.
4. *Andrasko, K.* Global warming and forests: an overview of current knowledge / K. Andrasko // *Unasylva*. – 1990. – Vol. 41 (163). – P. 3–11.
5. *Kellomäki, S.* Model computations on the impacts of the climatic change on the productivity and silvicultural management of the forest ecosystem / S. Kellomäki, H. Hänninen, T. Kolström // *Silva Fenn*. – 1988. – Vol. 22 (4). – P. 293–305.
6. Леса и лесная промышленность Коми АССР. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1961. – 395 с.
7. Атлас Коми АССР. – М.: ГУГК ГК СССР, 1964. – 112 с.
8. Лесной план Республики Коми. – Книга 2. – Приложение 1. – Вологда: Комитет лесов Республики Коми, 2008. – С. 1–2.
9. Атлас по климату и гидрологии Республики Коми. – М.: Дрофа; Д и К, 1997. – 116 с.
10. *Пахучий, В. В.* Факторы продуктивности осушенных насаждений Европейского Северо-Востока / В. В. Пахучий. – Сыктывкар: Коми НЦ УрО АН СССР, 1991. – 114 с.
11. *Ларин, В. Б.* Культуры ели и кедра сибирского на северо-востоке европейской части СССР / В. Б. Ларин. – Л.: Наука, 1980. – 224 с.
12. *Ларин, В. Б.* Формирование хвойных молодняков на вырубках северо-востока европейской части СССР / В. Б. Ларин, Ю. А. Паутов. – Л.: Наука, 1989. – 144 с.

Статья поступила в редакцию 22.05.10.

V. V. Pakhuchiy

**FOREST PRODUCTIVITY IN CONNECTION
WITH CLIMATE CHANGE IN KOMI REPUBLIC**

The results of comparison of forest production, as average increment of bodywood, in Komi Republic forestries in the middle of the 20th and at the beginning of the 21st centuries are stated. To equalize the increase, some generalized factors were used. The generalized factors were interpreted by 10 climate parameters. It was ascertained that bodywood average increment has grown from 0,99 m³/ha per year in 1961 to 1,23 m³/ha per year in the 2008. The main reason of this increase is mainly connected with climate change.

Key words: *forest productivity, climate change, the shoot of wood, climate.*

ПАХУЧИЙ Владимир Васильевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой лесного хозяйства Сыктывкарского лесного института – филиала ГОУ ВПО «СПбГЛТА». Область научных интересов – лесоведение, лесоводство, таксация, гидротехнические мелиорации лесных земель. Автор 188 публикаций.
E-mail: pakhut@sfi.komi.com

УДК 630*182.41

Ю. М. Дебринюк

ФАКТИЧЕСКАЯ И ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ДРЕВОСТОЕВ УКРАИНСКОГО РАСТОЧЬЯ

Определены существующая и возможная продуктивность древостоев на территории Украинского Расточья. Установлена их значительная дифференциация по показателю продуктивности в пределах типов лесорастительных условий и типов леса. В результате выращивания древостоев низкой и средней продуктивности недополучается 32–36% древесины, которую можно получить в пределах потенциальной продуктивности каждого типа леса.

Ключевые слова: фактическая и потенциальная продуктивность, типы леса, запас стволовой древесины.

Введение. Продуктивность древостоев того или иного типа леса формируется в пределах почвенно-гидрологического и климатического потенциала соответствующего типа лесорастительных условий. Она определяется запасом стволовой древесины и является следствием проявления комплексного действия многих факторов, из которых, кроме почвенно-климатических условий, важными являются состав насаждения, его полнота, санитарное состояние.

Наши данные [1–4] и результаты других исследователей [5–7] свидетельствуют о значительной вариабельности показателя продуктивности древостоев в пределах типа леса и конкретного возрастного периода.

Цель наших исследований заключалась в определении фактической продуктивности древостоев по типам леса, выделении групп древостоев разной продуктивности и выявлении факторов, которые определяют такую дифференциацию; в определении потенциально возможного уровня продуктивности древостоев; в разработке мероприятий по повышению фактической продуктивности лесов к потенциальному уровню.

Объекты и методика. Важным методологическим вопросом является выбор критерия определения продуктивности древостоев. Так, ряд авторов предлагают использовать для этой цели средний прирост древесины по запасу [8–16] как таковой, на величине которого отображается действие почти всех естественных и хозяйственных факторов. Другие исследователи как критерий потенциальной продуктивности рекомендуют использовать продуктивность лесных насаждений-эталонов [17–20]. Однако эталонные насаждения встречаются редко и не могут служить ориентиром для ведения лесного хозяйства [2, 4, 21].

Поэтому использование средневзвешенного показателя среднего прироста (Δ_m) группы насаждений высокой продуктивности (по О. С. Мигуновой [18] – средняя продуктивность типичных высокопродуктивных коренных древостоев типа леса) как критерия потенциальной продуктивности насаждений отображает соотношение между фактической и потенциальной продуктивностью.

Следовательно, средний прирост по запасу стволовой древесины (Δ_m) может служить надежным критерием фактической продуктивности древостоев. Группа древостоев

с наивысшим показателем (Δ_M) является своеобразным образцом для установления потенциального уровня продуктивности для данного типа леса. Простота определения показателя (Δ_M) обуславливает его самое широкое использование в лесохозяйственной практике [8–12].

Мы определяли фактическую и потенциальную продуктивность Украинского Расточья. Данный район проходит по территории Украины к северо-западу от г. Львова приблизительно на 60 км и продолжается дальше в Польше. По территории Расточья проходит Главный европейский водораздел между бассейнами рек Днестр, Западный Буг и Сян.

Для определения фактической продуктивности на основе показателя среднего прироста древесины (Δ_M , м³/га) древостои разделяли на шесть групп – очень высокой (I), высокой (II), средней (III), ниже средней (IV), низкой (V) и очень низкой (VI) продуктивности. Для упрощения расчетов более рационально объединить шесть групп продуктивности насаждений в три группы – высокой (I и II), средней (III и IV) и низкой (V и VI) продуктивности, так как расхождение в полученных показателях продуктивности по первому и второму вариантам незначительное – в пределах 1 %.

Предлагаемая методика базируется на разработанных нами положениях [1–4] с учетом основных аспектов и достижений других авторов по этой проблеме [8–10, 12, 13, 15, 16, 20]. Нами составлен реестр всех насаждений Украинского Расточья, которые здесь растут, проанализированы их рост и продуктивность.

Разделение древостоев на группы роста проведено методом расчленения всей генеральной совокупности данных о возрасте и продуктивности древостоев параболой второго порядка на определенное количество групп на основе величины среднего прироста в пределах каждого 20-летнего периода (рис., с. 39). В основу разделения насаждений на группы продуктивности положено стандартное отклонение (δ) от среднего значения. Сигмальная монотипичная шкала построена с градацией в одну δ с распределением на соответствующие диапазоны, каждый из которых определяет группу древостоев определенной продуктивности. Используемая сигмальная монотипичная шкала является наиболее обоснованной, потому что она выходит из свойств нормального распределения и общего свойства всех кривых, которые имеют точки перегиба. Это свойство заключается в том, что точки перегиба кривых второго и высшего порядков отображают пределы качественного изменения процесса. Кривая нормального распределения моделирует процесс изменения величины отклонений варианта от средней величины ($X_{\text{ср}} \pm \delta$).

Результаты исследований и обсуждение. Наиболее распространенными на территории Расточья являются сугрудовые типы лесорастительных условий (С), которые занимают 25134 га, или 48,5% площади лесфонда района. Одним из наиболее распространенных типов леса (5565 га) является свежий грабово-дубово-сосновый сугруд (С₂-г-дС).

В качестве примера разделения древостоев на группы роста и расчета их фактической и потенциальной продуктивности приводим возрастную группу насаждений 121–130 лет (табл. 1). Колебания показателя запаса предопределены прежде всего составом насаждений – преимуществом в них сосны или дуба. Исходя из положения, что наиболее высокопродуктивными являются коренные древостои, нами установлен фактический и потенциальный запасы древостоев типа леса на основе показателя среднего прироста по запасу (Δ_M , м³/га).

Так, для отнесения древостоев к группе сильного, среднего или слабого роста нужно определить величину шага показателя среднего изменения запаса: $(\Delta_{M_{\text{max}}} - \Delta_{M_{\text{min}}}) / 3 = (3,84 - 1,15) / 3 = 0,89 \text{ м}^3$. При этом показатели среднего изменения запаса древостоев не выходят за пределы $\pm 3\delta$. Следовательно, насаждение с показателями среднего при-

роста в пределах 3,84 – 2,95; 2,94 – 2,05; 2,04 – 1,15 м³ будут принадлежать к группам, соответственно, сильного, среднего и слабого роста.

Фактический запас стволовой древесины на площади типа леса определяли отдельно для древостоев разных групп роста для каждой возрастной группы. Так, фактический запас насаждений 121–130-летнего возраста для группы насаждений сильного роста составляет: 60,3 га·3,12 м³·126,8 лет = 23856 м³; для группы насаждений среднего роста: 19,5 га·2,57 м³·128,2 лет = 6425 м³; для группы насаждений слабого роста: 6,0 га·1,52 м³·128,7 лет = 1174 м³. Приведенные запасы стволовой древесины рассчитаны для насаждений с существующими полнотами. При этом, если относительная полнота насаждений сильного роста составляет 0,63, то слабого – лишь 0,39. Поэтому значительные резервы повышения продуктивности существуют именно в выращивании высокополнотных насаждений, не допуская существенного снижения полноты рубками формирования и оздоровления лесов.

Потенциальный запас насаждений определяли как произведение площади типа леса на показатель среднего изменения запаса насаждений сильной группы роста и средневзвешенный возраст: 85,8 га·3,12 м³·127,3 лет = 34078 м³.

Недополученное количество древесины по этому возрастному диапазону определяем как разницу между потенциальным (рассчитанным) и фактическим (существующим) запасами: 34078 – 31455 = 2623 м³. При этом следует иметь в виду, что показатель потенциального запаса древесины рассчитан на основе существующего показателя наивысшей полноты насаждения, которая для насаждений 121–130-летнего возраста составляет лишь 0,63. Понятно, что при большей полноте насаждений (напр., 0,8), потенциальные запасы стволовой древесины были бы существенно выше.

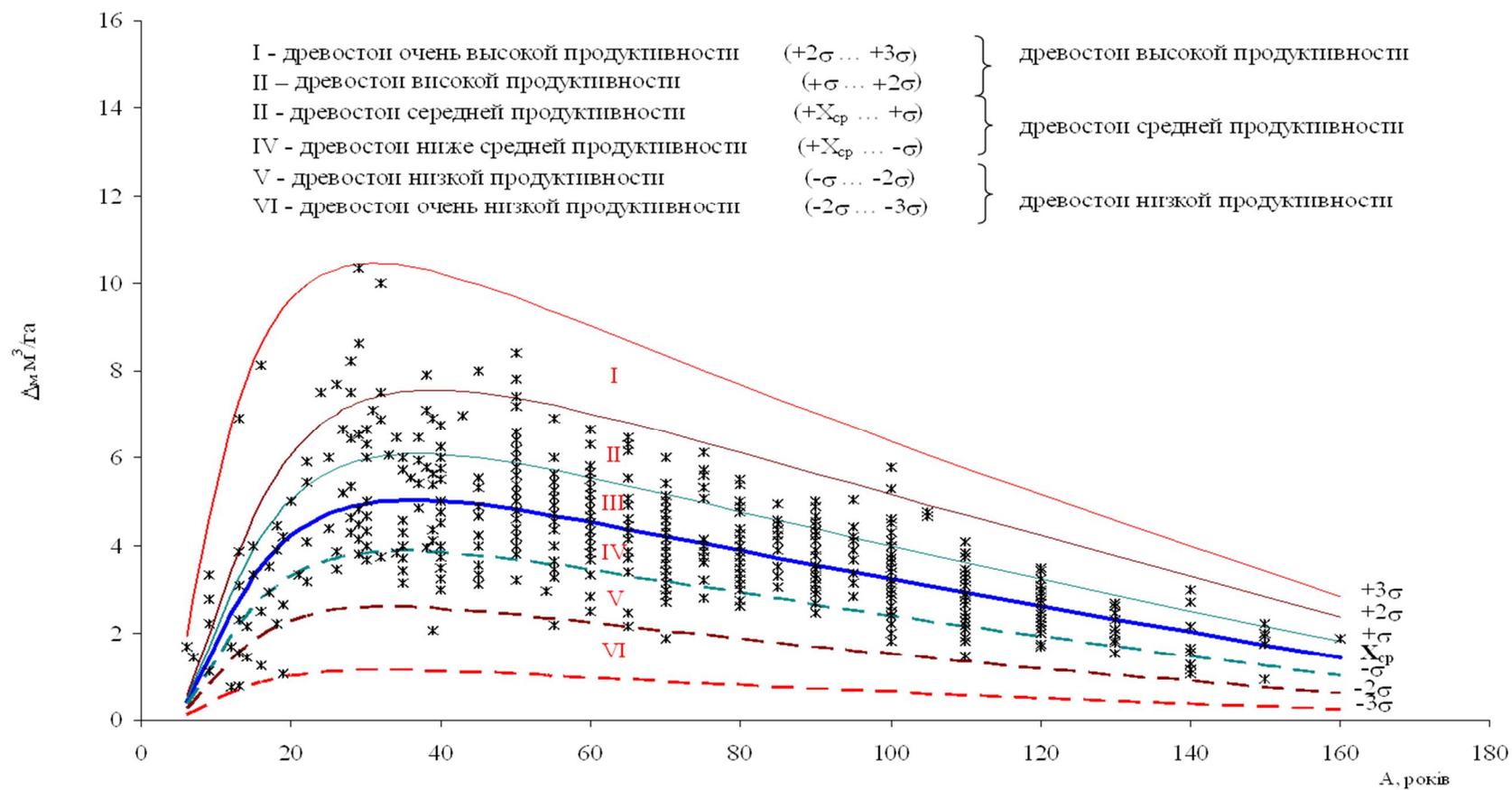
После проведения аналогичных расчетов по каждой возрастной группе насаждений полученные данные заносим в табл. 2. Как видим, показатель среднего изменения запаса (Δ_M) заметно отличается в насаждениях разных групп роста и наиболее существенно – в молодняках. В среднем превышение показателя Δ_M насаждений сильного роста над насаждениями слабого роста составляет 1,7–1,8 раза. Такое значительное отличие показателя среднего прироста в насаждениях разных групп роста указывает на значительное недоиспользование частью древостоев почвенно-климатического потенциала лесных площадей.

Наиболее высокий показатель Δ_M нами зафиксирован в насаждениях 31–40-летнего возраста. В течение следующих 20 лет он остается почти таким же высоким, а существенное снижение среднего прироста по запасу наблюдаем после 81–90 лет.

Степень использования лесорастительного потенциала насаждениями типа леса в целом является достаточно высокой. Лишь в отдельных возрастных группах наблюдаем заметное снижение этого показателя. В среднем по типу леса он составляет 82%, хотя запасы недополученной древесины на площади 1,5 тыс. га являются достаточно высокими – около 100 тыс. м³.

Следует отметить, что показатели потенциального запаса древесины могут быть на 25–35% более высокими, поскольку расчеты нами проведены на базе существующих полнот насаждений (0,5–0,7). Это подтверждается рассчитанными показателями потенциального запаса древесины на 1 га (табл. 3).

Как видим, фактические запасы стволовой древесины насаждений сильной группы роста, которые поставлены в основу расчета потенциальной продуктивности древостоев типа леса, являются на порядок ниже, чем по существующим таблицам хода роста для соответствующего возраста, поэтому достижение этих показателей является не очень сложной задачей.



Сигмальная монотипичная шкала для распределения дровостоев на группы роста на основании показателя среднего прироста по запасу
 (на примере насаждений влажной дубово-грабовой бучины Украинского Расточья)

Таблица 1

Распределение насаждений 121–130-летнего возраста на группы роста в условиях свежего грабово-дубово-соснового сугруда Страдчивского учебно-производственного лесокombината (Львовская обл.)

| Площадь, га | Состав древостоя | Возраст, лет | Полнота | Запас, м ³ /га | Δ _м , м ³ /га | Распределение насаждений на группы роста показателя среднего изменения запаса, Δм ³ /га | | | Δ _м × S | А × S | Р × S |
|---|--------------------|--------------|---------|---------------------------|-------------------------------------|--|---------|--------|--------------------|----------------|--------------|
| | | | | | | сильный | средний | слабый | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 11,0 | 7Соб2Дч1Бк + Г | 130 | 0,5 | 320 | 2,46 | | + | | 27,06 | 1430 | 5,5 |
| 2,2 | 10Дч + Соб, Кло, Е | 130 | 0,3 | 150 | 1,15 | | | + | 2,53 | 286 | 0,66 |
| 0,6 | 9Соб1Дч + Бк | 125 | 0,50 | 300 | 2,40 | | + | | 1,44 | 75 | 0,3 |
| 0,6 | 7Соб3Дч + Бк, Е | 125 | 0,50 | 280 | 2,24 | | + | | 1,34 | 75 | 0,3 |
| 19,0 | 9Соб1Дч + Бк | 125 | 0,60 | 380 | 3,04 | + | | | 57,76 | 2375 | 11,4 |
| 4,6 | 7Соб3Дч + Е, Бк | 130 | 0,75 | 460 | 3,54 | + | | | 16,28 | 598 | 3,45 |
| 7,0 | 8Соб1Дч1Бк + Г | 125 | 0,60 | 390 | 3,12 | + | | | 21,84 | 875 | 4,2 |
| 13,5 | 8Соб2Дч + Г | 130 | 0,63 | 390 | 3,00 | + | | | 40,5 | 1755 | 8,51 |
| 3,0 | 8Соб2Дч + Г | 125 | 0,60 | 380 | 3,04 | + | | | 9,12 | 375 | 1,8 |
| 1,0 | 5Соб4Дч1Бк | 125 | 0,60 | 320 | 2,56 | + | | | 2,56 | 125 | 0,6 |
| 1,6 | 7Дч1Соб1Бк1Г | 125 | 0,50 | 190 | 1,52 | | | + | 2,43 | 200 | 0,8 |
| 5,7 | 8Соб2Дч + Бк, Г | 125 | 0,60 | 350 | 2,80 | | + | | 15,96 | 712,5 | 3,42 |
| 6,3 | 7Дч2Соб1Бк | 125 | 0,60 | 370 | 2,96 | + | | | 18,65 | 787,5 | 3,78 |
| 1,9 | 10Соб + Дч, Бк | 125 | 0,70 | 480 | 3,84 | + | | | 7,30 | 237,5 | 1,33 |
| 4,0 | 9Соб1Дч | 130 | 0,70 | 460 | 3,54 | + | | | 14,16 | 520 | 2,8 |
| 1,6 | 8Соб1Бк1Г | 130 | 0,60 | 350 | 2,69 | | + | | 4,3 | 208 | 0,96 |
| 1,0 | 9Соб1Г + Дч | 130 | 0,40 | 230 | 1,77 | | | + | 1,77 | 130 | 0,4 |
| 1,2 | 10Соб | 130 | 0,40 | 260 | 2,00 | | | + | 2,4 | 156 | 0,48 |
| 85,8 | | | | | | | | | 247,4 | 10920,5 | 50,69 |
| Площадь насаждений по показателю среднего изменения запаса, га | | | | | | 60,3 | 19,5 | 6,0 | | | |
| Средневзвешенное среднее изменение запаса $247,4 : 85,8 = 2,88 \text{ м}^3$ | | | | | | 3,12 | 2,57 | 1,52 | | | |
| Средневзвешенный возраст $10920,5 : 85,8 = 127,3 \text{ лет}$ | | | | | | 126,8 | 128,2 | 128,7 | | | |
| Средневзвешенная относительная полнота $50,69 : 85,8 = 0,59$ | | | | | | 0,63 | 0,54 | 0,39 | | | |

Примечание. 85,8 – средневзвешенный возраст;

(3,84–1,15)/3=0,89 м³; границы групп роста древостоев: сильного – 3,84–2,95 м³; среднего – 2,94–2,05 м³; слабого – 2,04–1,15 м³

Т а б л и ц а 2

**Степень использования лесорастительного потенциала древостоями свежего грабово-дубово-соснового сугруда
Страдчивского учебно-производственного лесокombината**

| Группы возрас- та, лет* | Коли- чество выде- лов, шт. | Площадь древос- тоев, га | Среднее изменение запаса по группам роста древостоев, м ³ /га | | | Фактический запас стволовой древесины на площади типа леса по группам роста древостоев, м ³ | | | | Потенци- альный запас стволовой древеси- ны в типе леса, м ³ | Всего недопо- лучено древеси- ны, м ³ | Степень использования почвенно- климатическо- го потенциала, % |
|-------------------------------|---|-----------------------------------|--|---------|--------|--|---------------|--------------|---------------|---|--|---|
| | | | сильный | средний | слабый | сильный | средний | слабый | всего | | | |
| 11-20 | 70 | 108,8 | 5,15 | 3,02 | 1,47 | 3084 | 2104 | 604 | 5792 | 8853 | 3061 | 65 |
| 21-30 | 14 | 29,5 | 5,46 | 4,25 | 3,15 | 1365 | 1617 | 486 | 3468 | 4284 | 816 | 81 |
| 31-40 | 51 | 88,7 | 6,85 | 4,90 | 3,34 | 13527 | 5168 | 962 | 19657 | 22724 | 3067 | 86 |
| 41-50 | 50 | 122,0 | 6,69 | 5,43 | 3,92 | 13377 | 15983 | 2862 | 32222 | 37952 | 5730 | 85 |
| 51-60 | 72 | 174,7 | 6,34 | 5,00 | 3,47 | 26353 | 23632 | 3366 | 53351 | 62468 | 9117 | 85 |
| 61-70 | 48 | 143,6 | 5,63 | 4,39 | 3,34 | 30037 | 9969 | 7402 | 47408 | 55300 | 7892 | 86 |
| 71-80 | 55 | 163,5 | 5,44 | 4,32 | 2,87 | 23242 | 27987 | 5465 | 56694 | 68843 | 12149 | 82 |
| 81-90 | 37 | 142,6 | 4,64 | 3,67 | 2,47 | 27666 | 15058 | 5887 | 48611 | 57763 | 9152 | 84 |
| 91-100 | 74 | 183,0 | 4,40 | 3,17 | 2,19 | 24617 | 29975 | 6515 | 61107 | 79312 | 18205 | 77 |
| 101-110 | 63 | 117,6 | 3,75 | 2,85 | 2,03 | 19848 | 17942 | 2210 | 40000 | 47540 | 7540 | 84 |
| 111-120 | 37 | 68,4 | 4,00 | 2,81 | 2,12 | 475 | 6604 | 11978 | 19057 | 32476 | 13419 | 59 |
| 121-130 | 18 | 85,8 | 3,12 | 2,57 | 1,52 | 23856 | 6425 | 1174 | 31455 | 34078 | 2623 | 92 |
| 131-140 | 7 | 23,5 | 2,92 | - | 1,67 | 7212 | - | 1200 | 8412 | 9312 | 900 | 90 |
| 141-150 | 3 | 6,7 | 1,97 | - | 1,40 | 1566 | - | 294 | 1860 | 1980 | 120 | 94 |
| | 599 | 1458,4* | | | | 216225 | 162464 | 50405 | 429094 | 522885 | 93791 | 82 |

*Здесь не учтена площадь насаждений возрастной группы до 10 лет (181 га) и количество участков (128 шт.) по этой возрастной группе

Т а б л и ц а 3

**Сравнительная характеристика запасов стволовой
древесины в насаждениях свежего
грабово-дубово-соснового сугруда**

| Группы возраста, лет | Фактическая площадь насаждений сильной группы ро- ста, га | Фактический запас ство- ловой дре- весины насаж- дений силь- ной группы роста, м ³ /га* | Фактический запас ство- ловой дре- весины насаж- дений всех групп роста, м ³ /га |
|----------------------------|--|--|---|
| 11–20 | 37,9 | 81 | 53 |
| 21–30 | 9,4 | 145 | 118 |
| 31–40 | 52,8 | 256 | 222 |
| 41–50 | 43,0 | 311 | 264 |
| 51–60 | 73,7 | 357 | 305 |
| 61–70 | 78,0 | 385 | 330 |
| 71–80 | 55,2 | 421 | 347 |
| 81–90 | 68,3 | 405 | 341 |
| 91–100 | 56,8 | 433 | 334 |
| 101–110 | 49,1 | 404 | 340 |
| 111–120 | 1,0 | 475 | 278 |
| 121–130 | 60,3 | 395 | 367 |
| 131–140 | 18,2 | 396 | 358 |
| 141–150 | 5,3 | 295 | 277 |

*положено в основу расчета потенциальной продуктивности насаждений в типе леса

Как видно из данных табл. 4, преобладающими по площади являются насаждения средней продуктивности (49%), а наименьшую площадь занимают насаждения высокой продуктивности (21%) с фактическим запасом древесины, соответственно, 35 и 26% от общего по типу лесорастительных условий.

Наивысшим запасом древесины отмечают насаждения в типе леса С₂-г-дС – 235 м³/га. Группа насаждений высокой продуктивности в этом же типе леса накапливает запас 359 м³/га. Самой низкой общей фактической продуктивностью отмечают насаждения судубрав – лишь 134–142 м³/га по трем группам продуктивности, а насаждения группы высокой продуктивности – 189–226 м³/га. Насаждения субучин занимают промежуточное положение.

Соответственно, древостои с высоким уровнем фактической продуктивности обладают и высоким уровнем потенциальной продуктивности (от 306 м³/га для типа леса С₂-г-дС до 173 м³/га для типа леса С₂-г-сД). Показатель потенциальной продуктивности установлен нами на уровне 82–95% от продуктивности насаждений группы сильного роста. В целом, степень использования лесорастительного потенциала сугрудовыми типами леса является относительно высокой, однако, с потенциальными возможностями дополнительного получения древесины в объеме больше 1,3 млн. м³.

Исследовалась также продуктивность грудовых типов леса Расточья (99,4% площади), среди которых изучена продуктивность дубрав и бучин. Так, среди дубрав второе место по распространенности занимает влажная грабовая дубрава, лесорастительный потенциал которой используется наиболее полно (см. табл. 4). Рассчитанная потенциальная продуктивность древостоев находится практически на уровне фактической продуктивности насаждений группы высокой продуктивности.

Таблица 4

Продуктивность сугрудовых и грудовых типов леса Расточья

| Тип леса | Площадь типа леса, га | | | Потенциальная продуктивность древостоев типа леса, м ³ | Фактический запас стволовой древесины типа леса по группам роста древостоев, м ³ | | | | Всего недополучено древесины в типе леса, м ³ | Степень использования лесорастительного потенциала, % | |
|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|----------------|---|---|----------------|----------------|---------------|--|---|-----------|
| | Всего | в т.ч. по группам продуктивности | | | высокая | средняя | низкая | всего | | | |
| | | высокая | средняя | | | | | | | | низкая |
| С ₂ -г-дС | 5565,4 | 1936,2 | 2327,5 | 1301,7 | 1703935 | 695693 | 446084 | 164006 | 1305783 | 398152 | 77 |
| С ₃ -г-дС | 8704,0 | 1581,8 | 3999,8 | 3122,4 | 2367486 | 521544 | 875450 | 465662 | 1862656 | 504830 | 79 |
| С ₃ -г-сД | 3685,3 | 510,4 | 2213,7 | 961,2 | 714945 | 115119 | 319195 | 88956 | 523270 | 191675 | 73 |
| С ₂ -г-сД | 2144,8 | 311,6 | 1118,2 | 715,0 | 371085 | 58986 | 163209 | 65235 | 287430 | 83655 | 77 |
| С ₂ -г-сБк | 1612,5 | 300,3 | 905,8 | 406,4 | 459427 | 86365 | 186016 | 59791 | 332172 | 127255 | 72 |
| Всего | 21712,0 | 4640,3 | 10565,0 | 6506,7 | 5616878 | 1477707 | 1989954 | 843650 | 4311311 | 1305567 | 77 |
| D ₂ -гД | 1037,0 | 192,8 | 651,2 | 193,0 | 252250 | 40803 | 91626 | 18665 | 151094 | 101156 | 60 |
| D ₂ -г-бкД | 3653,7 | 686,9 | 1138,0 | 1828,8 | 828363 | 140041 | 204356 | 203114 | 547511 | 280852 | 66 |
| D ₃ -гД | 1697,5 | 385,3 | 689,5 | 622,7 | 315686 | 64277 | 108361 | 61124 | 233762 | 81924 | 74 |
| Всего | 6388,2 | 1265,0 | 2478,7 | 2644,5 | 1396299 | 245121 | 404343 | 282903 | 932367 | 463932 | 67 |
| D ₂ -д-гБк | 3219,2 | 966,0 | 1576,4 | 676,8 | 871587 | 260976 | 299896 | 96015 | 656887 | 214700 | 75 |
| D ₂ -д-гБк | 4685,6 | 759,4 | 2435,8 | 1490,4 | 1371612 | 265285 | 574989 | 156776 | 997050 | 374562 | 73 |
| Всего | 7904,8 | 1725,4 | 4012,2 | 2167,2 | 2243199 | 526261 | 874885 | 252791 | 1653937 | 589262 | 74 |

Однако значительную площадь (около 40%) и треть запаса (34%) древесины занимают насаждения низкой продуктивности. Существование таких насаждений является следствием допущенных ошибок в процессе их создания, недостаточного количества или некачественного проведения агротехнических уходов, неправильного формирования состава насаждений, проведения проходных рубок высокой интенсивности, частых санитарно-выборочных рубок и т.п. Наличие таких насаждений существенно снижает потенциальный уровень использования высокого почвенного плодородия дубрав. Их средний прирост в течение всего периода лесовыращивания колеблется в пределах 1,5–3,0 м³/га, тогда как у насаждений сильной группы роста этот показатель в 3–4 раза выше.

Насаждения средней продуктивности по площади и запасу составляют основную часть дубрав Расточья. Преимущественно это культуры средней продуктивности, где участие главной породы по различным причинам недостаточно. Существующий состав древостоев в большинстве случаев отвечает коренному составу типа леса или близок к нему. Поскольку насаждения данной группы роста занимают значительную площадь дубрав, весомое значение имеет повышение их продуктивности до высокого уровня.

Насаждения высокой продуктивности по площади составляют 20%, по запасу – 26% дубрав Расточья. Это высокопродуктивные и биологически устойчивые насаждения с преимуществом в составе дуба черешчатого, а также ели, лиственницы, изредка – ясеня. В этой группе существуют насаждения, средний прирост которых составляет 12 м³/га и больше.

Следовательно, в повышении продуктивности дубрав Расточья существуют значительные резервы: лишь поднятие ее к потенциальному уровню, вычисленному на основании существующей фактической продуктивности, даст возможность без увеличения лесной площади дополнительно получить свыше 450 тыс. м³ древесины.

В сравнении с дубравами, бучины занимают несколько большую площадь (на 20%) и накапливают заметно больший фактический запас древесины (в 1,8 раза). Кроме того, запас древесины на 1 га в бучинах является заметно выше, чем в дубравах.

В бучинах, в отличие от дубрав, заметное преимущество как по площади, так и запасу имеют насаждения средней продуктивности (51 и 53%). Насаждения высокой продуктивности занимают лишь 22% площади и 32% запаса древесины. Выше, чем в дубравах, является степень использования лесорастительного потенциала. Хотя продуктивность бучин сравнительно высокая, все же существует потенциальная возможность повысить их продуктивность в среднем на 25% и получить дополнительно около 600 тыс. м³ древесины.

Третье место по распространенности в Расточье занимают субореваемые типы лесорастительных условий (~ 1/5 площади лесов района). Сосна обыкновенная наивысшей продуктивностью отмечается в условиях влажных суборей, где общая фактическая продуктивность древостоев составляет 202, а древостоев высокой продуктивности – 268 м³/га стволовой древесины (табл. 5). Как и в сугрудовых типах, наибольшую площадь занимают насаждения средней продуктивности (54%), здесь же сосредоточенный и наибольший запас (37%) стволовой древесины. Наименьшие площадь и запас стволовой древесины установлены в насаждениях низкой продуктивности (29 и 9%).

Запас стволовой древесины группы насаждений сильного роста занимает значительный объем – 35% от общего запаса древесины типа леса, а разрыв в продуктивности на 1 га насаждений групп сильного и среднего роста не очень значительный – в пределах 19–30%. При внедрении соответствующих мероприятий на площади суборевых типов леса можно получить дополнительно около 900 тыс. м³ древесины.

Площадь боров и запасы накапливаемой насаждениями древесины очень незначительны. Низким является общий фактический запас древесины сосновых насаждений

Таблица 5

Продуктивность суборевых и боровых типов леса Расточья

| Тип леса | Площадь типа леса, га | | | | Потенциальная продуктивность древостоев на площади типа леса, м ³ | Фактическая продуктивность древостоев по группам продуктивности на площади типа леса, м ³ | | | | Всего недополучено древесины в типе леса, м ³ | Степень использования лесорастительного потенциала, % |
|---------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------|---------------|--|--|----------------|---------------|----------------|--|---|
| | Всего | в т.ч. по группам продуктивности | | | | высокая | средняя | низкая | всего | | |
| | | высокая | средняя | низкая | | | | | | | |
| В ₂ -бкС | 36,2 | 14,5 | 13,4 | 8,3 | 9195 | 3606 | 2444 | 973 | 7023 | 2172 | 76 |
| В ₂ -дС | 6537,4 | 1307,5 | 4053,2 | 1176,7 | 1686649 | 325824 | 700011 | 137822 | 1163657 | 522992 | 69 |
| В ₃ -дС | 5047,6 | 1615,2 | 2271,4 | 1161,0 | 1372947 | 432874 | 442923 | 143818 | 1019615 | 353332 | 74 |
| В ₄ -бС | 196,8 | 56,1 | 42,0 | 98,7 | 34834 | 9680 | 5933 | 7806 | 23419 | 11415 | 67 |
| Всего | 11818,0 | 2993,3 | 6380,0 | 2444,7 | 3103625 | 771984 | 1151311 | 290419 | 2213714 | 889911 | 71 |
| А ₁ -С | 57,2 | 24,6 | 24,0 | 8,6 | 7674 | 3445 | 2296 | 552 | 6293 | 1381 | 82 |
| А ₂ -С | 260,0 | 70,2 | 156,5 | 33,3 | 57006 | 14882 | 25853 | 3730 | 44465 | 12541 | 78 |
| А ₃ -С | 124,4 | 37,3 | 52,2 | 34,9 | 25208 | 7412 | 8384 | 3362 | 19158 | 6050 | 76 |
| Всего | 441,6 | 132,1 | 232,7 | 76,8 | 89888 | 25739 | 36533 | 7644 | 69916 | 19972 | 78 |

(110–171 м³/га). Даже существующий запас древесины группы насаждений высокой продуктивности является невысоким (140–212 м³/га). Определенная нами потенциальная продуктивность находится в среднем на уровне 130–200 м³/га (табл. 5).

Насаждения низкой продуктивности занимают относительно небольшую площадь (17,4%). Преимущественно это производные редкостойные древостои березы; низкополнотные древостои сосны; сосновые древостои, поврежденные корневой губкой; низкопродуктивные и низкополнотные сосново-березовые древостои и т.п.

Более половины площади и запаса лесного фонда боровых типов леса занимают насаждения средней продуктивности. Насаждения высокой продуктивности занимают значительно меньшую площадь, чем насаждения предыдущей группы, но именно они наиболее эффективно выполняют средообразующие функции и именно здесь степень использования потенциального плодородия земель наивысшая.

Однако фактическая продуктивность древостоев в типе леса составляет лишь 78% от потенциально возможной, а запас древостоев группы низкой продуктивности – около 10% от существующей фактической продуктивности древостоев. Основной причиной низкой продуктивности насаждений является низкая полнота, которая определена преимущественно причинами антропогенного характера.

Повышение продуктивности боровых насаждений прежде всего реализуется через улучшение биологической устойчивости сосновых древостоев, лучшим выполнением ими естественных защитных функций.

В целом, степень использования лесорастительного потенциала в боровых типах леса является достаточно высокой, поскольку разница в продуктивности насаждений разных групп роста является не очень значительной вследствие бедности лесорастительных условий.

Выводы. Распределение деревьев в насаждениях по группам роста дает возможность проанализировать существующие потенциальные резервы в повышении продуктивности конкретного насаждения из-за уменьшения относительного участия деревьев отстающего роста, создания условий для перехода части деревьев среднего в группу сильного роста.

На основе длительного исследования продуктивности лесов Западной Лесостепи, а также Прикарпатья и Карпат нами установлена значительная дифференциация древостоев по показателю продуктивности в пределах одинаковых типов лесорастительных условий, типов леса и возрастных групп. Превышение средневзвешенного среднего прироста группы древостоев высокой продуктивности над группой низкой продуктивности составляет 3–6 раз.

В результате выращивания древостоев групп низкой и средней продуктивности недополучается 18–40% от общего объема древесины, которую можно получить в пределах потенциальной продуктивности каждого типа леса.

Поднятие продуктивности лесов к потенциально возможному уровню даст возможность без расширения покрытых лесом площадей дополнительно получить около 3,3 млн. м³ древесины лишь в пределах региона Украинского Расточья.

Основными причинами, которые обуславливают низкий показатель среднего прироста, является несоответствие состава насаждений типу леса, их низкая полнота. Существование таких древостоев и их выращивание до возраста спелости приводит к существенному снижению уровня использования потенциальной продуктивности лесорастительных условий. Такое явление является характерным для всех исследуемых нами типов леса не только на территории Расточья, но и в западном регионе Украины и дает основание предположить, что оно носит глобальный характер. Доведение уровня продуктивности таких древостоев хотя бы до среднего показателя продуктивности су-

щественно увеличит выход древесины с единицы лесной площади, уменьшит разрыв между потенциальной и фактической продуктивностью.

Уменьшение количества низкопродуктивных древостоев путем внедрения соответствующих мероприятий, прежде всего – системы плантационного лесовыращивания, обеспечит значительный потенциал повышения общей продуктивности насаждений даже без расширения покрытых лесом площадей конкретного предприятия, района или региона.

Список литературы

1. Дебринюк, Ю. М. Продуктивність деревостанів свіжого грабово-дубово-соснового сугруду Розточчя / Ю. М. Дебринюк // Наук. вісник: Збірник наук.-техн. праць. – Вип. 3.1. – Львів: УкрДЛТУ, 1995. – С. 5–9.
2. Дебринюк, Ю. М. Структура продуктивности древостоев Украинского Расточья / Ю. М. Дебринюк // Лесной журнал. – 1993. – № 5–6. – С. 22–25.
3. Калінін, М. І. Застосування циклічного способу вирощування деревостанів з комбінованим оборотом рубки на принципах лісозміни. Практичні рекомендації / М. І. Калінін, Ю. М. Дебринюк. – Харків: УкрНДЛГА, 1993. – 16 с.
4. Калінін, М. І. Порівняльна продуктивність деревостанів у межах типу лісу та методика її визначення / М. І. Калінін, Ю. М. Дебринюк // Зб.наук. пр.: Ліс. госп-во, ліс., папер і деревооброб. промисленість. – Вип. 25. – Львів: Світ, 1995. – С.18–22.
5. Горшенин, Н. М. Система мероприятий по повышению продуктивности лесов / Н. М. Горшенин // Лесное хозяйство, лесная, бумажная и деревообрабатывающая промышленность. – Вып.7. – Киев: Будивельник, 1976. – С. 3–8.
6. Огиевский, В. В. О лесовосстановлении в зоне широколиственных лесов / В. В. Огиевский, Л. А. Медведев // Лесное хозяйство. – 1991. – № 5. – С. 29–30.
7. Попков, М. Ю. Лісокористування в Україні. Лісозабезпеченість / М. Ю. Попков, М. П. Савущик // Ліс. журн. – 1993. – № 1. – С. 2–4.
8. Вакулюк, П. Г. Повышение продуктивности лесов Старо-Петровского лесничества / П. Г. Вакулюк // Лесное хозяйство. – 1988. – № 1. – С. 56–58.
9. Воробьев, Д. В. Природная и фактическая продуктивность лесной площади / Д. В. Воробьев // Лесное хозяйство. – 1959. – № 11. – С. 10–13.
10. Бугаев, В. А. Методика расчета повышения продуктивности леса / В. А. Бугаев // Научные труды УСХА: Развитие производства в учебно-опытных лесхозах. – Вып. 65. – Киев, 1972. – С. 162–167.
11. Калінін, М. І. Лісові компоненти фітоценозів Природного заповідника «Розточчя» / М. І. Калінін // Наук. вісник: Зб. наук.-техн. праць УкрДЛТУ: Природничі дослідження на Розточчі. – Вип. 4. – Львів, 1995. – С. 146–153.
12. Каразия, С. Потенциальная продуктивность древостоев Южной Прибалтики / С. Каразия // Лесоводственные меры повышения продуктивности лесов: Сб. научн. тр. ЛенНИИЛХ. – Вильнюс: Москлас, 1980. – С. 47–53.
13. Косяков, М. Н. Фактическая и потенциальная производительность лесов Черновицкой области / М. Н. Косяков // Лесоводство и агролесомелиорация. – Вып. 28. – Киев: Урожай, 1972. – С. 102–106.
14. Туркевич, И. В. Экономическое обоснование подбора пород при лесовыращивании / И. В. Туркевич, В. Е. Лебедев, В. Б. Кулага // Лесоводство и агролесомелиорация. – Вып. 32. – Киев: Урожай, 1973. – С. 3–11.
15. Туркевич, И. В. Количественная оценка качества лесорастительных условий степной зоны УССР / И. В. Туркевич, Л. А. Медведев, В. Е. Лебедев // Лесоводство и агролесомелиорация. – Вып. 27. – Киев: Урожай, 1971. – С. 56–63.
16. Туркевич, И. В. Производительность лесорастительных условий в Полесье УССР / И. В. Туркевич, Л. А. Медведев, В. Е. Лебедев // Лесной журнал. – 1972. – № 3. – С. 33–39.
17. Кисилевский, Р. Г. Лесоводственная оценка насаждений различного целевого назначения / Р. Г. Кисилевский, В. А. Бузун, Л. А. Медведев // Лесоводство и агролесомелиорация. – Вып. 56. – Киев: Урожай, 1980. – С. 17–22.
18. Мигунова, Е. С. Леса и лесные земли / Е. С. Мигунова. – М.: Экология, 1993. – 364 с.

19. Остапенко, Б. Ф. Методика типологического анализа лесов / Б. Ф. Остапенко, З. Ю. Герушинский // Научные труды ХСХИ. – Т.190. – Харьков, 1973.– С. 50–62.
20. Остапенко, Б. Ф. Типологический анализ лесов / Б. Ф. Остапенко, З. Ю. Герушинский // Экология. – 1975. – № 3. – С. 36–41.
21. Богачев, А. В. Модель прогноза роста сосновых насаждений / А. В. Богачев // Лесоведение. – 1991. – № 1. – С. 3–11.

Статья поступила в редакцию 22.05.10.

Yu. M. Debrinyuk

REAL AND POTENTIAL PRODUCTIVITY OF UKRAINIAN ROZTOCHYA FOREST STANDS

Existing and potential productivity of forest stands, located in Ukrainian Roztochya is identified. Significant differentiation by productivity indicators within the limits of forest site types and forest types is observed. As a result of low and medium productivity forest stands raising, 32–36% of wood, which can be obtained within the limits of potential productivity of each forest type, is less received.

Key words: *real and potential productivity, types of forest, volume of stem wood.*

ДЕБРИНЮК Юрий Михайлович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур и лесной селекции Национального лесотехнического университета Украины (г. Львов). Область научных интересов – разработка новых и усовершенствование существующих технологий создания и выращивания высокопродуктивных устойчивых искусственных насаждений с участием аборигенных видов; усовершенствование теоретических, методологических и технологических принципов выращивания плантационных лесных культур в Украине. Автор более 140 публикаций.

E-mail: debrynuk_ju@ukr.net

УДК 630*165.6 + 630*232.311.3

Н. Н. Бессчетнова

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПЛЮСОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПО СОДЕРЖАНИЮ КРАХМАЛА В ПОБЕГАХ

Установлена генотипическая обусловленность специфики плюсовых деревьев сосны обыкновенной по накоплению крахмала в тканях годичных побегов. Различия зафиксированы на объектах постоянной лесосеменной базы и единого генетико-селекционного комплекса, созданных в Нижегородской области. Заметное влияние на проявление разнообразия оказывают факторы среды и качество прививок.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, плюсовые деревья, клоны, содержание крахмала.

Введение. Организация надежно функционирующей лесосеменной базы, центральное место в которой занимают лесосеменные плантации, созданные на селекционно-генетической платформе, является необходимым условием стабильной эксплуатации лесных ресурсов на основе их эффективного воспроизводства и устойчивого управления этим процессом [1–4]. Одним из сложных в решении вопросов остается формирование ассортимента таких объектов. Принято считать [4–6], что он должен быть представлен достаточным числом используемых плюсовых деревьев с широким спектром ценных признаков и свойств. При этом продуктивность насаждений и интенсивность их семеношения в значительной степени связана с резистентностью и адаптированностью растений к существующим экологическим условиям и преимущественно определяется соответствием ритмов их фенологического развития ходу сезонных изменений погодных условий в местах обитания.

Физиологические показатели объективно характеризуют биологическое состояние растительного организма, обуславливают его приспособленность к экологической обстановке и выживаемость: морозостойкость, продолжительность макро- и микроспорогенеза, сроки выхода из состояния покоя, темпы роста и др. Во многом они определяют различия между популяциями и экотипами [7, 8]. Содержание в тканях древесных и кустарниковых пород запасных веществ выступает надежным критерием сравнительной оценки их устойчивости к неблагоприятным факторам среды [9, 10]. Методы гистохимических исследований привлекаются достаточно широко для решения подобных задач [11]. В соответствии с этим нами была предпринята попытка определения физиологических показателей, в частности, наличия крахмала в побегах плюсовых деревьев сосны обыкновенной, размещенных в объектах постоянной лесосеменной базы (ПЛСБ) и единого генетико-селекционного комплекса (ЕГСК), созданных в Нижегородской области.

Цель работы: установить характер накопления крахмала клонами плюсовых деревьев сосны обыкновенной и на этой основе оценить степень наследственной обусловленности различий между ними по способности аккумулировать запасные вещества в тканях годичных побегов.

Методы и объекты исследования. Объектом исследований выступали разновозрастные клоны плюсовых деревьев сосны обыкновенной, сосредоточенные в их архаивах и

© Бессчетнова Н. Н., 2010.

представленные на лесосеменных плантациях (ЛСП) ГУ НО «Семеновский спецлесхоз». Каждое плюсовое дерево (ортет) представлено тремя своими клонами (раме-тами), на каждом из которых отбирали 3–5 нормально развитых ветвей. Элиминация влияния сопутствующих факторов обеспечивалась соблюдением ряда условий. Однолетние побеги срезали одновременно и равномерно с однотипных участков кроны: хорошо освещенная периферийная часть её среднего яруса. Первичная единица выборки в опыте представлена временными препаратами поперечных срезов из средней части годичного прироста, которые после окрашивания и фиксации анализировались с помощью микроскопа Микмед-2. Содержание крахмала оценивали по реакции на раствор Люголя [12] в условных баллах по предложенной нами шкале. Учет вели по зонам: сердцевине, перимедулярной зоне ксилемы, ранней и поздней ксилеме, сердцевинным лучам, смоляным ходам, флоэме, – отдельно и по общей сумме. В качестве контроля визирования использовались неокрашенные срезы, не подвергавшиеся воздействию тестирующих реагентов. Сроки взятия проб приурочены к характерным фенологическим состояниям изучаемых растений: период покоя (первый срок учета), выход из состояния покоя (второй срок учета), начало образования поздней ксилемы (третий срок учета), переход в состояние покоя (четвертый срок учета). Схема опыта обеспечивала построение иерархических комплексов и выполнение однофакторного и двухфакторного дисперсионного анализа.

Результаты исследований и их обсуждение. Изучение содержания крахмала в клетках годичных побегов плюсовых деревьев, представленных на объектах анализа своими одновозрастными клонами, выявило заметные расхождения их средних значений (рис. 1–3).

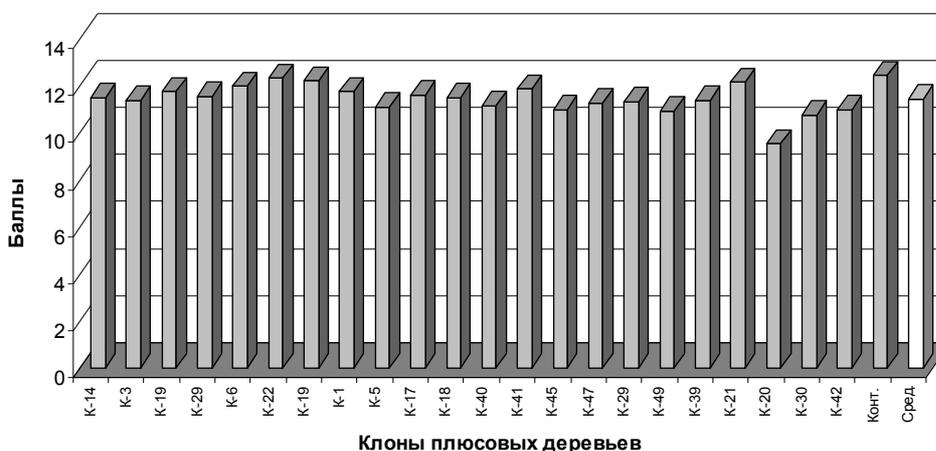


Рис. 1. Содержание крахмала (сумма баллов по учетным тканям и зонам) в архиве № 1 в первый срок учета (январь 2008 г.)

Различия зафиксированы в составе всех обследованных объектов ПЛСБ и ЕГСК. На каждом из них степень несовпадений при одновременном учете (04.01.2008 г.) оказалась неодинаковой, что в большей мере проявилось на ЛСП 24. Здесь минимальная оценка (4,50 балла) у клона К-6 в 4,12 и 2,78 раза меньше, чем у клона К-49 (18,56 балла) и обобщенного среднего (12,49 балла) соответственно.

Неодинаковый уровень разброса значений в представленных архивах клонов и на ЛСП в известной мере может быть связан со спецификой их ассортиментного состава.

Кроме того отмеченная картина может объясняться еще и тем, что условия среды в значительной степени определяют способность растений к реализации своего потенциала в синтезе запасных веществ. На бездефицитном фоне с высоким уровнем обеспеченности жизненно важными факторами (почвенного плодородия, освещенности и пр.) клоны, склонные к интенсивному продуцированию в благоприятных условиях существования, получают возможность проявить эту способность. При возникновении дефицита по какому-либо фактору они не смогут реализовать и продемонстрировать эти свои качества и лишь достигнут характеристик тех особей, которые отличались общим невысоким пределом образования и накопления органических соединений.

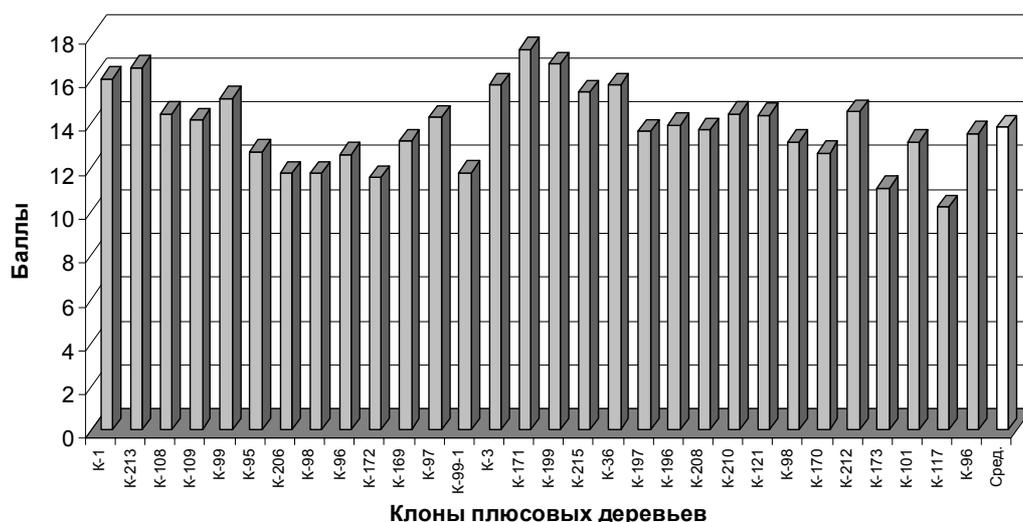


Рис. 2. Содержание крахмала (сумма баллов по учетным тканям и зонам) в архиве № 4 в первый срок учета (январь 2008 г.)

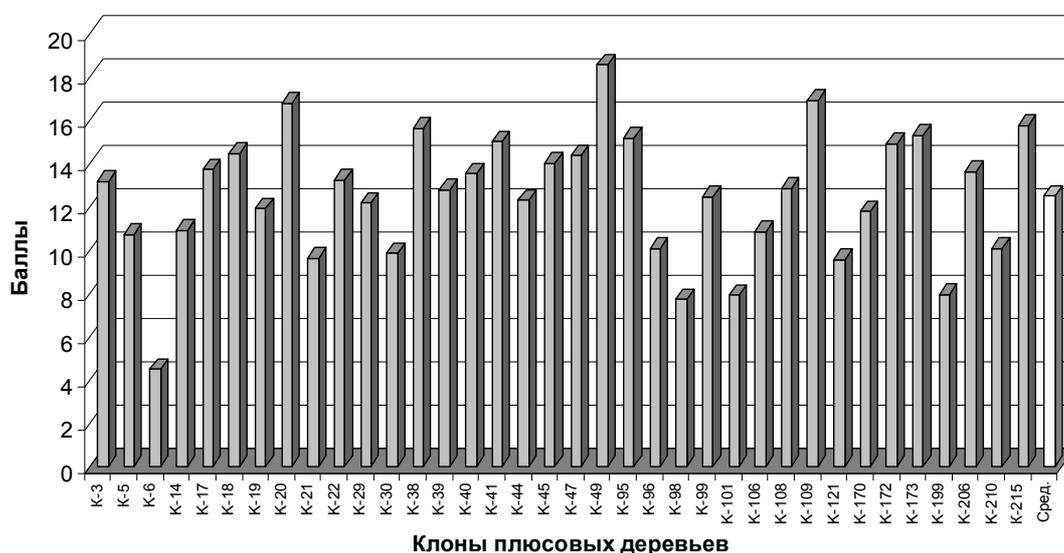


Рис. 3. Содержание крахмала (сумма баллов по учетным тканям и зонам) на ЛСП № 24 в первый срок учета (январь 2008 г.)

Чем полнее представлен экологический фон, тем контрастнее проявление одного и того же признака у сопоставляемых объектов. Так, на ЛСП № 24 основным фактором, отличающим условия произрастания на ней от таковых в архивах клонов, является оптимальное освещение кроны у всех рамет, а также более полное удовлетворение их по-

требности в элементах почвенного плодородия. Это определено принятыми схемами размещения посадочных мест: на ЛСП площадь питания на одно растение в 3–4 раза больше, чем в архивах. Объяснить выраженную сглаженность показателя в архиве № 1 по сравнению с более контрастной картиной в архиве № 4 можно теми же причинами. Аналогичные выводы удастся сделать и по другим срокам учета, притом, что уровень содержания крахмала и соотношения между клонами в этих случаях оказались иными.

Существенность установленных различий подтвердил однофакторный дисперсионный анализ (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Оценки различий между плюсовыми деревьями сосны обыкновенной по содержанию крахмала в побегах

| Срок учета | Критерий Фишера | | Доля влияния фактора ($h^2 \pm S_{h^2}$) | | | | НСР | D-критерий Тьюки |
|----------------------|-----------------|-----------------|--|---------------|--------------|---------------|------|------------------|
| | | | по Плохинскому | | по Снедекору | | | |
| | $F_{оп}$ | F_{05}/F_{01} | h^2 | $\pm S_{h^2}$ | h^2 | $\pm S_{h^2}$ | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Архив клонов № 1 | | | | | | | | |
| I – январь 2008 г. | 2,55 | 1,62/1,97 | 0,2337 | 0,0916 | 0,1470 | 0,1020 | 1,08 | 1,96 |
| II – апрель 2008 г. | 6,33 | 1,62/1,97 | 0,4309 | 0,0680 | 0,3721 | 0,0751 | 2,42 | 4,37 |
| III – июль 2008 г. | 1,58 | 1,62/1,97 | 0,1590 | 0,1006 | 0,0606 | 0,1123 | 2,65 | 4,79 |
| IV – декабрь 2008 г. | 2,48 | 1,62/1,97 | 0,2290 | 0,0922 | 0,1415 | 0,1026 | 2,15 | 3,89 |
| Архив клонов № 4 | | | | | | | | |
| I – январь 2008 г. | 3,66 | 1,45/1,69 | 0,3065 | 0,0838 | 0,2279 | 0,0933 | 2,58 | 4,65 |
| II – апрель 2008 г. | 2,74 | 1,45/1,69 | 0,2485 | 0,0908 | 0,1617 | 0,1013 | 3,01 | 5,42 |
| III – июль 2008 г. | 4,90 | 1,45/1,69 | 0,3719 | 0,0759 | 0,3023 | 0,0843 | 2,52 | 4,54 |
| IV – декабрь 2008 г. | 2,66 | 1,45/1,69 | 0,2433 | 0,0914 | 0,1558 | 0,1020 | 2,40 | 4,33 |
| ЛСП № 24 | | | | | | | | |
| I – январь 2008 г. | 5,53 | 1,45/1,69 | 0,4020 | 0,0727 | 0,3348 | 0,0808 | 3,51 | 6,33 |
| II – апрель 2008 г. | 1,95 | 1,45/1,69 | 0,1955 | 0,1002 | 0,0975 | 0,1124 | 0,65 | 1,18 |
| III – июль 2008 г. | 6,30 | 1,45/1,69 | 0,4337 | 0,0688 | 0,3708 | 0,0765 | 2,87 | 5,18 |
| IV – декабрь 2008 г. | 5,82 | 1,45/1,69 | 0,4143 | 0,0712 | 0,3488 | 0,0791 | 3,24 | 5,85 |

Материалы таблицы позволяют заметить, что в большинстве случаев учета в комплексах клонов плюсовых деревьев, введенных в состав объектов ПЛСБ и ЕГСК, 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.

Полученные оценки соответствуют представлению о выровненности условий произрастания на каждом из опытных участков и минимизации в соответствии с этим влияния внешних факторов на дифференциацию анализируемых растений по учитываемому показателю. При этом следует иметь в виду, что изменение экологических условий для того или иного клона (участие его в составе и ЛСП № 24, и архивах №1 и №4) может вызвать у каждого из них вполне специфическую реакцию, связанную с индивидуальным порогом критических требований к ресурсному потенциалу среды. Это может выражаться, в том числе, в особенностях реализации их возможностей синтезировать, транспортировать, трансформировать и накапливать продукты фотосинтеза. Тогда мы вправе ожидать и неодинаковый уровень дисперсии значений изучаемого признака на указанных опытных участках.

Доля влияния организованных факторов, которые в нашем случае определены принадлежностью к тому или иному клону, составляла от 19,55 до 43,37 % (на ЛСП № 24

во второй и третий срок учета соответственно). Сказанное справедливо в отношении вариантов, где отвергается нулевая гипотеза. Полученный результат свидетельствует о заметной генотипической обусловленности различий между вегетативными потомствами плюсовых деревьев по способности накапливать в своих тканях крахмал. Такой их уровень фиксируется во все сроки учета на всех обследованных участках. 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 могут быть включены и факторы среды, оказалось преобладающим и во всех случаях учета превышало 50 %. Данное обстоятельство указывает на значительную зависимость проявляющейся способности плюсовых деревьев накапливать в тканях своих побегов крахмал от воздействия внешних условий. Оно способно нивелировать разницу в показателях, имеющую генотипическую природу, и предопределяет возможность достаточно больших изменений в фенотипических проявлениях признака. Это влияние способно 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 по накоплению крахмала, позволила установить двухфакторный иерархический дисперсионный анализ (табл. 2).

В большинстве вариантов опыта различия между собственно плюсовыми деревьями – ортетами (каждое представлено комплексом клонов – рамет) оказались существенными. Опытные критерии Фишера превосходят соответствующие критические значения. Исключение составили: архив № 4 в первый и четвертый срок учета, архив № 1 в третий и четвертый срок учета. Влияние фактора «различия между ортетами» достаточно велико: от 23,37 (архив № 1 в первый срок учета) до 43,37 % (ЛСП № 24 в третий срок учета).

Действие различий между раметами соизмеримо с вышеотмеченными значениями и оценивается интервалом 22,25 – 47,37 % (в архивах клонов № 1 и № 4 в первый срок учета). Возникновение влияния данного фактора связано с неоднородностью вегетативного потомства одного плюсового дерева и может быть объяснено, исходя из следующих соображений. Существующие регламенты и реализуемая в соответствии с ними агротехника создания ЛСП вегетативного происхождения и архивов клонов (от момента первичного освоения участка до этапа перехода растений в генеративную фазу) предусматривает предельно возможное выравнивание условий произрастания и минимизацию в этой связи их дифференцирующего эффекта. Кроме того принятые приемы тиражирования и режимы выращивания посадочного материала обеспечивают однотипность его технологических параметров. Действенной причиной неравноценности прививок (именно этот метод размножения использовался для создания анализируемых объектов) остается качество работ при их выполнении, как впрочем, и индивидуальное состояние подвоя и привоя. Это может в значительной мере определять успешность их срастания и последующее развитие. Такое объяснение выглядит вполне логичным, поскольку в пределах одного клона все его представители генетически идентичны.

Влияние факторов среды преобладает далеко не во всех случаях: на их долю приходится от 21,55 (ЛСП № 24 в четвертый срок учета) до 54,38 % (архив № 1 в первый срок учета).

Следует отметить, что двухфакторный иерархический дисперсионный анализ подтвердил оценки генотипической обусловленности различий между плюсовыми деревь-

ями по содержанию крахмала, проявившиеся на объектах ПЛСБ и ЕГСК и отмеченные в ходе однофакторного анализа (см. табл. 1, 2). При этом он позволил вычленить долю влияния такого фактора, как «различия между раметами».

Т а б л и ц а 2

**Оценка существенности различий между плюсовыми деревьями
по накоплению крахмала в побегах годичных побегов**

| Объекты ПЛСБ, ЕГСК | 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 | $\pm s_{h^2}$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Первый срок учета: январь 2008 г. | | | | | | | |
| Архив клонов №1 | различия между ортегами | 2,196 | 1,80 / 2,30 | 0,2337 | 0,3665 | 0,1491 | 0,4070 |
| | различия между раметами | 1,227 | 1,44 / 1,68 | 0,2225 | 0,2592 | 0,0600 | 0,3133 |
| | остаточная дисперсия | | | 0,5438 | 0,4562 | 0,7910 | 0,2090 |
| Архив клонов №4 | различия между ортегами | 1,339 | 1,59 / 1,93 | 0,3065 | 0,3352 | 0,2316 | 0,3714 |
| | различия между раметами | 6,463 | 1,32 / 1,48 | 0,4737 | 0,1754 | 0,4960 | 0,1680 |
| | остаточная дисперсия | | | 0,2199 | 0,7801 | 0,2724 | 0,7276 |
| ЛСП № 24 | различия между ортегами | 1,890 | 1,59 / 1,93 | 0,4020 | 0,2907 | 0,3213 | 0,3299 |
| | различия между раметами | 8,172 | 1,32 / 1,48 | 0,4375 | 0,1875 | 0,4785 | 0,1738 |
| | остаточная дисперсия | | | 0,1606 | 0,8394 | 0,2002 | 0,7998 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Второй срок учета: апрель 2008 г. | | | | | | | |
| Архив клонов №1 | различия между ортегами | 3,131 | 1,80 / 2,30 | 0,4309 | 0,2722 | 0,3615 | 0,3054 |
| | различия между раметами | 3,071 | 1,44 / 1,68 | 0,2878 | 0,2374 | 0,2607 | 0,2464 |
| | остаточная дисперсия | | | 0,2812 | 0,7188 | 0,3778 | 0,6222 |
| Архив клонов №4 | различия между ортегами | 2,004 | 1,59 / 1,93 | 0,2485 | 0,3632 | 0,1655 | 0,4033 |
| | различия между раметами | 1,555 | 1,32 / 1,48 | 0,2566 | 0,2478 | 0,1303 | 0,2899 |
| | остаточная дисперсия | | | 0,4949 | 0,5051 | 0,7041 | 0,2959 |
| ЛСП № 24 | различия между ортегами | 2,724 | 1,59 / 1,93 | 0,4322 | 0,2760 | 0,3561 | 0,3130 |
| | различия между раметами | 4,053 | 1,32 / 1,48 | 0,3263 | 0,2246 | 0,3248 | 0,2251 |
| | остаточная дисперсия | | | 0,2415 | 0,7585 | 0,3191 | 0,6809 |
| Третий срок учета: июль 2008 г. | | | | | | | |
| Архив клонов №1 | различия между ортегами | 0,877 | 1,80 / 2,30 | 0,1590 | 0,4022 | 0,0796 | 0,4402 |
| | различия между раметами | 2,460 | 1,44 / 1,68 | 0,3789 | 0,2070 | 0,3013 | 0,2329 |
| | остаточная дисперсия | | | 0,4621 | 0,5379 | 0,6191 | 0,3809 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Архив клонов №4 | различия между ортегами | 2,591 | 1,59 / 1,93 | 0,3719 | 0,3036 | 0,2979 | 0,3394 |
| | различия между раметами | 2,690 | 1,32 / 1,48 | 0,2970 | 0,2343 | 0,2530 | 0,2490 |
| | остаточная дисперсия | | | 0,3312 | 0,6688 | 0,4491 | 0,5509 |
| ЛСП № 24 | различия между ортегами | 2,805 | 1,59 / 1,93 | 0,4337 | 0,2753 | 0,3582 | 0,3120 |
| | различия между раметами | 3,846 | 1,32 / 1,48 | 0,3181 | 0,2273 | 0,3125 | 0,2292 |
| | остаточная дисперсия | | | 0,2481 | 0,7519 | 0,3294 | 0,6706 |
| Четвертый срок учета: декабрь 2008 г. | | | | | | | |
| Архив клонов №1 | различия между ортегами | 1,526 | 1,80 / 2,30 | 0,2290 | 0,3688 | 0,1495 | 0,4067 |
| | различия между раметами | 2,057 | 1,44 / 1,68 | 0,3137 | 0,2288 | 0,2216 | 0,2595 |
| | остаточная дисперсия | | | 0,4574 | 0,5426 | 0,6288 | 0,3712 |
| Архив клонов №4 | различия между ортегами | 1,434 | 1,59 / 1,93 | 0,2433 | 0,3657 | 0,1649 | 0,4036 |
| | различия между раметами | 2,597 | 1,32 / 1,48 | 0,3511 | 0,2163 | 0,2901 | 0,2366 |
| | остаточная дисперсия | | | 0,4056 | 0,5944 | 0,5450 | 0,4550 |
| ЛСП № 24 | различия между ортегами | 2,302 | 1,59 / 1,93 | 0,4143 | 0,2847 | 0,3361 | 0,3227 |
| | различия между раметами | 5,156 | 1,32 / 1,48 | 0,3703 | 0,2099 | 0,3856 | 0,2048 |

| | | | | | | | |
|--|----------------------|--|--|--------|--------|--------|--------|
| | остаточная дисперсия | | | 0,2155 | 0,7845 | 0,2784 | 0,7216 |
|--|----------------------|--|--|--------|--------|--------|--------|

Выводы

1. Плюсовые деревья сосны обыкновенной, представленные своими клонами в их архивах и на лесосеменных плантациях, существенно различаются по способности накапливать крахмал в тканях годичных побегов. Выявленная дифференциация ассортиментного состава объектов ПЛСБ и ЕГСК устойчива и проявляется в течение всего года на каждом из обследованных участков.

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

3. Содержание крахмала в побегах клонов плюсовых деревьев зависит от факторов среды, доля влияния которых составляет 21,55 – 54,38 %. Компонент дисперсии, связанной с различиями между раметами, также достаточно велик и оценивается пределами 22,25 – 47,37 %. Его возникновение объясняется преимущественно разнокачественностью прививок.

4. Наследственный характер контрастных различий между плюсовыми деревьями по накоплению крахмала в тканях побегов предопределяет целесообразность привлечения данного признака для осуществления многомерной идентификации объектов лесной селекции.

Список литературы

1. Яблоков, А. С. Лесосеменное хозяйство / А. С. Яблоков. – М.: Гослесбумиздат, 1965. – 465 с.
2. Коновалов, Н. А. Основы лесной селекции и сортового семеноводства / Н. А. Коновалов, Е. А. Пугач. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 176 с.
3. 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.
4. 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.
5. Потылев, В. Г. Проблемы лесного селекционного семеноводства / В. Г. Потылев // Лесохозяйственная информация. – 1997. – № 3. – С. 14 – 30.
6. Царев, А. П. Вопросы и проблемы плюсовой селекции / А. П. Царев, Н. В. Лаур // Лесной вестник. – 2006. – № 5. – С. 118 – 123.
7. Демаков, Ю. П. Диагностика устойчивости лесных экосистем / Ю. П. Демаков. – Йошкар-Ола, 2000. – 416 с.
8. Карасева, М. А. Физиологическая оценка устойчивости лиственницы сибирской в Среднем Поволжье / М. А. Карасева, В. Н. Карасев, А. А. Моторкин // Хвойные бореальной зоны. Лиственница. – Вып. 1. – Красноярск, 2003. – С. 27 – 35.
9. Сергеев, Л. И. Морфо-физиологическая периодичность и зимостойкость древесных растений / Л. И. Сергеев, К. А. Сергеева, В. К. Мельников. – Уфа, 1961. – 223 с.
10. Сергеева, К. А. Физиологические и биохимические основы зимостойкости древесных растений / К. А. Сергеева. – М.: Наука, 1971. – 175 с.
11. Генкель, П. А. Состояние покоя и морозоустойчивость плодовых растений / П. А. Генкель, Л. Ф. Окнина. – М.: Наука, 1964. – 242 с.
12. Прозина, Н. М. Ботаническая микротехника / Н. М. Прозина. – М.: Высшая школа, 1960. – 205 с.

Статья поступила в редакцию 20.04.10.

N. N. Besschetnova

**COMPARATIVE ESTIMATION OF STARCH CONTENT
IN THE SPROUTS OF SCOTCH PINE PLUS-TREES**

Genotypical dependence of the specific nature of plus-trees of scotch pine on starch accumulation in a one-year sprouts` tissue is determined. Distinctions are fixed on the facilities of a constant forest and seed base and an integrated genetic-selection complex, created in the Nizhni Novgorod region. Environment factors and inoculations quality show telling impact on diversity manifestation.

Key words: *a Scotch pine, plus-trees, clones, starch content.*

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 40 публикаций.

E-mail: lesfak@bk.ru

УДК 630*232.327

И. С. Нечаева, Н. А. Бабич

РЕПРОДУКТИВНЫЕ СВОЙСТВА СОРНЫХ РАСТЕНИЙ ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКОВ

Изучен флористический состав, репродуктивные и морфологические особенности сорных растений лесных питомников. Проведенные исследования дополняют знания о семенной продуктивности сорняков, что позволяет совершенствовать систему агротехнических мероприятий на лесных питомниках.

Ключевые слова: лесные питомники, сорные виды, семенная репродукция сорняков, морфология семян, всхожесть, энергия прорастания.

Введение. В результате длительной истории своего развития сорные растения выработали исключительное разнообразие биологических особенностей и приспособительных свойств в различных условиях произрастания. Помимо интенсивного размножения вегетативным путем, многие виды сорных трав ежегодно образуют огромное количество семян. Все это позволяет сорнякам быстро заселять те или иные площади и сохраняться в значительном количестве даже при интенсивном возделывании почвы.

Вопросам семенной продуктивности травянистых растений посвящено большое количество исследований. По мнению многих авторов [1–3], малолетние сорняки обладают высокой плодовитостью, но, следует отметить, что данные литературных источников весьма противоречивы. Это объясняется сложностью изучения семенной продуктивности растений. Во-первых, семенная продуктивность как потенциальная, так и реальная, складывается из ряда элементов. Причем для различных видов эти элементы неодинаковы, что связано с морфологическими особенностями растений. В большинстве случаев элементами семенной продуктивности являются: среднее число генеративных побегов на одну особь, среднее число цветков на генеративный побег, среднее число семян на цветок, среднее число полноценных семян на цветок. В зависимости от характера соцветия, строения плода и т.д. число элементов и их содержание может меняться. Во-вторых, количественные характеристики каждого из этих элементов зависят от многих взаимообусловленных внешних и внутренних факторов: климатические и погодные условия, плодородие почвы, достаточность опыления, вредители, болезни. В-третьих, различные группы факторов в разной степени и неоднозначно влияют на элементы семенной продуктивности. Перечисленные особенности затрудняют обобщение данных по семенной продуктивности и выделение существенных факторов, влияющих на ее показатели [4].

Широкое и быстрое распространение многих сорных растений обеспечивается высокой их плодовитостью, то есть массовым образованием семян. Семеношение сорных растений зависит от условий их местообитания. В загущенных участках сорняки выглядят подавленными и едва образуют десятки и тем более сотни семян. В изреженных посевах по хорошо удобренному фону сорняки пышно разрастаются (если они не уничтожены) и образуют массу семян. Подсчетами плодовитости сорняков занимались многие российские и зарубежные специалисты [1].

Наряду с высокой плодовитостью сорные растения имеют ряд приспособлений для расселения на большие расстояния. У семян некоторых видов растений (одуванчика, осота полевого, бодяка полевого и др.) в верхней части семян имеются летучки, облегчающие перенос их ветром. Переносятся на большие расстояния также мелкие и легкие семена сорняков, не имеющие летучек [1, 2]. Семена многих сорных растений снабжены прицепами, которые обеспечивают возможность им переноситься в различных направлениях животными, птицами, человеком, различными видами транспорта [3].

По данным литературных источников [1–3, 5 и др.], многие семена сорняков сохраняют всхожесть, пройдя через пищеварительный тракт животных и птиц, и вместе с тем, сохраняя способность к прорастанию, могут быть занесены с навозом на питомник (ромашка непахучая, марь белая, щавель малый и др.).

Как показали исследования многих ученых [2; 3; 6–8], семена сорных растений обладают исключительной приспособленностью к прорастанию. При благоприятных условиях окружающей среды семена некоторых сорняков прорастают через несколько дней после созревания и опадения их на землю. При неблагоприятных же условиях (сухость или чрезмерная влажность почвы) они не прорастают, но способны сохранять всхожесть в течение нескольких лет. Способность семян сорняков сохраняться в почве годами объясняется состоянием оболочки. Она у большинства видов плотная, покрыта кутикулой, трудно проницаемой для воды и воздуха, предохраняющей зародыш от неблагоприятных факторов внешней среды в период покоя семян. Кроме свойств околоплодника и оболочки семян, на способность семян к прорастанию влияет температура воздуха и почвы, а также глубина нахождения их в почве.

Биологическая приспособленность семян сорняков к внешним условиям среды приводит к большому накоплению их в почве, что обуславливает сложность борьбы с засоренностью питомников.

Таким образом, следует отметить, что при выборе гербицида и доз следует учитывать биологические особенности сорняков, огромную плодовитость, одновременность появления всходов, способность к вегетативному размножению, широкое разнообразие видов сорняков. Только при этом условии можно разработать и эффективно применить комплекс мероприятий, направленных на уничтожение сорной растительности на постоянных питомниках.

Целью исследований явилось изучение видового разнообразия сорных растений, распространенных в лесных питомниках Севера, и их репродуктивных свойств. Для оценки репродуктивных свойств сорняков изучались биометрические показатели семян (длина, ширина, масса 1000 семян), их всхожесть, семенная продуктивность растений.

Техника эксперимента. При рекогносцировочном обследовании учитывали видовой состав сорной растительности путем осмотра всех полей в посевном и в школьном отделениях и на вспомогательной части пяти постоянных лесных питомников: Няндомском, Плесецком, Каргопольском, Коношском, Устьянском. При этом отмечали приуроченность видов сорных растений к месту произрастания.

При стационарных исследованиях определяли урожай семян на площадках 1 м^2 в десятикратной повторности на паровом поле и полях с сеянцами первого и второго года выращивания Няндомского постоянного лесного питомника, на полях которого распространено большое количество сорных видов трав, размножающихся семенным путем. Вычисляли среднее число генерирующих растений на 1 м^2 и семенную продуктивность одного среднего растения, по которым определяли общую продуктивность [8–10]. Для определения семенной продуктивности сорных растений подсчитывали общее количество семян каждого вида, также определяли массу 1000 семян (ГОСТ 12042-80). Масса

1000 семян определялась с точностью до 0,01 г на электронных весах HL-100. Размеры семян (длина, ширина) по 20–25 семян каждого вида проводили с помощью измерительной лупы ЛИ-3-10^x с точностью до 0,1 мм. Описание их внешнего вида проводили по В. Н. Доброхотову [11].

Всхожесть и энергию прорастания семян сорняков определяли в климакамере «Фитотрон 30» при температуре 23°C и постоянной освещенности 40000 Лк. По 100 штук каждого вида в четырехкратной повторности укладывали на увлажненную фильтровальную бумагу, что соответствует ГОСТ 12038-84. Началом проращивания считали день, следующий за днем раскладки семян. Подсчет проросших семян начинали через пять дней после закладки. Учеты повторяли на 10 и 15 день. К нормально проросшим относились семена, развившие здоровый корешок не менее длины семени.

Интерпретация результатов, их анализ. В результате маршрутных исследований установлено, что ценофлора сорной растительности питомников Архангельской области насчитывает в своем составе 109 видов сосудистых растений, относящихся к 86 родам и 29 семействам, или около 10% от общего количества видов флоры Архангельской области, которая включает, по данным В. М. Шмидта [12], 1098 видов.

На основании проведенных исследований и статистической обработки данных установлено, что для получения достоверных сведений по размерам семян достаточно обработать их по 20–25 штук. Основные результаты по массе 1000 семян, их поверхности, окраске и другим особенностям представлены в табл. 1.

Поверхность семян, или внешняя структура (архитектоника) семенных оболочек, чрезвычайно разнообразна. Часто основные структурные признаки поверхности (бугорчатая, ребристая и др.), являющиеся устойчивыми, дополняются блеском, матовостью, восковым налетом и др. Блестящая поверхность обусловлена поверхностным строением оболочек и степенью зрелости семян; матовая – не отражением, а поглощением лучей; гладкая – лишена неровностей; шероховатая – образуется за счет слабо заметных шипиков, бороздок и выступов, сливающихся в общую структурную поверхность; голая – лишена каких-либо выростов; опушенная – отличается развитием клеток покрова с образованием волосков разной длины и густоты.

Окраска семян – признак слабоустойчивый, так как пигментные вещества, определяющие окраску семян, легко изменяются в зависимости от зрелости семян. Типичной считается окраска зрелых семян. В пределах одного и того же вида и даже растения окраска семян может быть чрезвычайно разнообразной. Особенно многообразны по окраске семена двудольных растений. Окраска семян злаковых в пределах растения и вида более однородна.

Биометрические показатели по длине и ширине семян изучаемых видов в питомниках средней подзоны тайги представлены в табл. 2. Изменчивость по длине малая (до 10 %) у осота полевого, горца перечного, тимopheевки луговой, фиалки полевой, фиалки трехцветной, щучки дернистой, пастушьей сумки, щавеля малого, и средняя (от 10,1 до 30 %) – у пырея ползучего, тысячелистника обыкновенного, хамоиллы аптечной, подорожника большого, мари белой, торицы полевой, иван-чая узколистного, звездчатки средней, ясколки дернистой, льнянки обыкновенной. По ширине изменчивость в основном средняя. Точность опыта и достоверность вывода во всех случаях доказаны ($p < 5\%$; $t > 4$). Максимальная длина семян наблюдается у пырея ползучего, горца перечного, минимальная – у льнянки обыкновенной, ясколки дернистой, иван-чая узколистного. Распределение семян изученных нами видов по крупности (по длине) в соответствии с классификацией В. Н. Доброхотова [11] представлено в табл. 3. Основное число видов, распространенных на лесном питомнике, имеют мелкие и очень мелкие размеры

Таблица 1

Масса (г) 1000 штук семян сорных видов

| Растения | Наши данные | | Источники [6; 11; 14] | Морфологические особенности семян |
|---------------------------|-------------|-----------|----------------------------|---|
| | min-max | X±m | | |
| Пырей ползучий | 1,74–2,60 | 2,15±0,10 | 3,9 [14] | Линейно-продолговатые; поверхность слабоморщинистая; окраска буровато-коричневая; колоски пятидесятицветковые, труднораспадающиеся; в цветке 1–4 зерновки |
| Гореч перечный | 1,00–1,40 | 1,16±0,04 | – | Трехгранный орешек, слегка сдавленный; поверхность блестящая; окраска темно-коричневая |
| Тимофеевка луговая | 0,42–0,46 | 0,44±0,00 | 0,6 [11] | Пленчатая зерновка яйцевидная, безостая; поверхность слабо-продольно-морщинистая, матовая; окраска светло-коричневая |
| Фиалка полевая | 0,33–0,40 | 0,36±0,01 | 0,65 [14] | Обратноййцевидные; поверхность блестящая, маслянисто-лоснящаяся; окраска светло-коричневая |
| Торица полевая | 0,30–0,40 | 0,31±0,02 | 0,5 [14]; 0,5 [11] | Шаровидные, слегка сдавленные; поверхность мелкобугорчатая; окраска черная; коробочки широко-яйцевидные; в одной коробочке 9–24 семени |
| Фиалка трехцветная | 0,24–0,40 | 0,31±0,02 | 0,5 [11] | Обратноййцевидные; поверхность блестящая, маслянисто-лоснящаяся; окраска от светло-желтых до темно-коричневых; коробочки яйцевидные, раскрывающиеся створками; в одной коробочке 20–50 семян |
| Подорожник больш. | 0,17–0,25 | 0,21±0,01 | 0,3 [11] | Многогранно-угловатые, сдавленные; поверхность тускло-блестящая; окраска темно-коричневая; коробочки яйцевидные |
| Марь белая | 0,15–0,20 | 0,19±0,01 | 1,15 [14]; 2–1,5 [11] | Округло-сдавленные, слегка выпуклые; поверхность гладкая, блестящая; окраска интенсивно-черная |
| Осог полевой | 0,11–0,14 | 0,12±0,00 | 2,0 [14]; 0,6 [11] | Овально-удлиненные, сильносдавленные, слегка изогнутые, вершина усеченная, летучка из длинных светлых мягких волосков, легко опадает; поверхность поперечно-морщинистая, матовая; окраска темно-коричневая, светло-коричневая; в одном цветке 60–90 семян |
| Щучка дернистая | 0,10–0,12 | 0,11±0,00 | – | Ладьевидно-трехгранные; поверхность голая; окраска желтовато-зеленоватая; до 350 в одной метелке |
| Звездчатка средняя | 0,10–0,11 | 0,11±0,00 | 0,5–0,6 [14]; 0,5 [11] | Округло-сдавленные; поверхность покрыта мелкими бугорками; окраска темно-коричневая, с красноватым оттенком; коробочки удлиненные, шестистворчатые; в одной коробочке 2–9 семян |
| Тысячелистник об. | 0,09–0,11 | 0,10±0,00 | 0,08 [6]; 0,15 [11] | Клиновидные, сильносдавленные, слабоизогнутые; поверхность тонкоморщинистая, матовая; окраска серовато-бурая |
| Хамомилла апт. | 0,05–0,10 | 0,07±0,00 | 0,07 [6]; 0,08 [11] | Цилиндрические, притупленные, вершина косоусеченная; поверхность матовая, слегка лоснящаяся; окраска в массе светло-желтая; в одном цветке 50–470 семян |
| Пастушья сумка | 0,06–0,07 | 0,07±0,00 | 0,1 [14]; 0,1–0,15 [11] | Овально-складчатые, округлые у вершины, у основания выемка, поверхность гладкая, окраска желтовато-коричневая, светло- или более темно-желтая; в одном стручочке 20–25 семян, длина его 3–5 мм |
| Ясколка дернистая | 0,05–0,06 | 0,06±0,00 | 0,1 [11] | Округло-угловатые, сдавленные; пов-сть бородавчато-бугорчатая, матовая; окраска желтовато-коричневая, бугорки более темные; коробочки десятизубчатые; в каждой 25–50 шт. |
| Иван-чай узколист. | 0,02–0,04 | 0,03±0,00 | 0,075 [11] | Клиновидные, слегка сдавленные; поверхность матовая; окраска коричневая |
| Льнянка об. | 0,02–0,03 | 0,03±0,00 | 0,15 [11] | Округло-плоские, чечевицеобразные, с крыловидной каймой; поверхность мелко-зернисто-бугорчатая; окраска черная |
| Щавель малый | 0,01–0,016 | 0,01±0,00 | 0,25–0,3 [11] | Орешки трехгранные, грани слегка выпуклые; поверхность гладкая, блестящая; окраска светло-коричневая |

семян (83%), способствующие легкому распространению. Мелкие и легкие семена, по мнению ряда авторов [1, 2 и др.], распространяются на большие расстояния.

Т а б л и ц а 2

Размеры семян сорных растений

| Название растения | Длина семян, мм | | | Ширина семян, мм | | |
|--|-----------------|----------|-----------------------|------------------|----------|-----------------------|
| | наши данные | | литературные данные | наши данные | | литературные данные |
| | min–max, | X±m | | min–max | X±m | |
| Пырей ползучий <i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski | 3,1–6,7 | 5,2±0,17 | 4–5 | 0,5–1,4 | 1,1±0,03 | – |
| Осот полевой <i>Sonchus arvensis</i> L. | 3,0–3,4 | 3,2±0,04 | 2,5–3,25 | 0,3–0,4 | 0,3±0,01 | 0,75–1,25 |
| Горец перечный <i>Polygonum hydropiper</i> L. | 2,5–3,2 | 2,8±0,05 | – | 1,8–2,4 | 2,1±0,05 | – |
| Тимофеевка луговая <i>Phleum pratense</i> L. | 1,7–2,1 | 1,8±0,02 | 1,5–2,25 | 0,8–1,1 | 0,9±0,02 | 0,75–1 |
| Фиалка полевая <i>Viola arvensis</i> Murr. | 1,45–1,9 | 1,6±0,02 | – | 0,8–1,1 | 1,0±0,05 | – |
| Фиалка трехцветная <i>Viola tricolor</i> L. | 1,3–1,6 | 1,5±0,02 | 1,25–1,75 | 0,6–0,9 | 0,8±0,02 | 0,75–1 |
| Щучка дернистая <i>Deschampsia caespitosa</i> (L.) Beauv | 1,3–1,7 | 1,4±0,03 | – | 0,4–0,6 | 0,5±0,01 | – |
| Тысячелистник обыкновенный <i>Achillea millefolium</i> L. | 1,0–1,9 | 1,4±0,05 | 1,75–2,25; 1,5–2 | 0,3–0,6 | 0,4±0,02 | 0,5–0,75 |
| Хамомилла аптечная <i>Chamomilla recutita</i> (L.) Rauschert | 1,2–1,5 | 1,3±0,03 | 0,8–1,25 | 0,3–0,5 | 0,3–0,5 | 0,25 |
| Подорожник большой <i>Plantago major</i> L. | 1,0–1,5 | 1,3±0,04 | 0,75–1,25 | 0,6–0,8 | 0,7±0,02 | 0,5–0,75 |
| Марь белая <i>Chenopodium album</i> L. | 1,0–1,6 | 1,3±0,04 | 1,5–1,75 | 0,9–1,5 | 1,2±0,04 | 1,5–1,75 |
| Торица полевая <i>Spergula arvensis</i> L. | 0,6–1,3 | 1,0±0,04 | 1–1,25 | 0,6–1,3 | 1,0±0,04 | 1–1,25 |
| Пастушья сумка <i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik. | 0,7–1,1 | 0,9±0,02 | 0,75–1 | 0,3–0,6 | 0,5±0,02 | 0,5 |
| Щавель малый <i>Rumex acetosella</i> L. | 0,8–1,0 | 0,9±0,02 | 0,75–1,25; 0,8–1,1 | 0,4–0,5 | 0,5±0,01 | 0,75–1,25; 0,8–1,1 |
| Иван-чай узколистный <i>Chamerion angustifolium</i> (L.) Holub | 0,7–1,1 | 0,9±0,03 | 1–1,25 | 0,1–0,2 | 0,1±0,01 | 0,3 |
| Звездчатка средняя <i>Stellaria media</i> (L.) Willd. | 0,5–0,8 | 0,7±0,02 | 0,75–1,25; 0,9–1,3 | 0,5–0,8 | 0,7±0,02 | 0,75–1,25; 0,9–1,3 |
| Ясколка дернистая <i>Cerastium holosteoides</i> Fries | 0,3–0,5 | 0,5±0,02 | 0,5–0,75 | 0,3–0,5 | 0,5±0,01 | 0,5 |
| Льнянка обыкновенная <i>Linaria vulgaris</i> L. | 0,3–0,6 | 0,4±0,02 | 1,75–2,25 | 0,3–0,5 | 0,4±0,01 | 1,75–2,25 |

Примечание. Выделены полужирным шрифтом малолетние сорняки; латинские названия таксонов приведены по В. М. Шмидту (2005); min–max – минимальное и максимальное значения; X±m_x – среднее значение с основной ошибкой.

В мелких семенах растений содержится небольшое количество питательных веществ, из-за чего основная часть проростков, особенно двудольных, гибнет в почве, не достигая поверхности. Двудольные сорняки в гораздо большей степени, чем злаковые, погибают от дефицита влаги [8]. Таким образом, биометрические показатели семян

изучаемых видов в питомниках средней подзоны тайги ниже, чем в южных районах, по данным литературных источников [2, 11].

Следует различать *среднюю продуктивность* растений, понимая под ней среднее число семян на одну особь или на один генеративный побег, и *урожай семян* (общую продуктивность) – число семян, продуцируемых растением на единицу площади. Урожай семян зависит от числа генеративных особей на единицу площади и от средней семенной продуктивности. И то и другое существенно варьирует по годам [9].

Из приведенных данных в табл. 4 видно, как резко изменяется плодовитость отдельных видов сорняков. В результате наших исследований установлено, что семенная продуктивность однолетних сорняков составляет от 190 (фиалка полевая) до 15 тыс. (звездчатка средняя) (в среднем 5,2 тыс. шт.) семян с одного растения, многолетних – от 15 (пырей ползучий) до 21,7 тыс. шт. (ясколка дернистая) (в среднем 4,8 тыс. шт.). Невысокая семенная плодовитость корневищных (пырей ползучий) и корнеотпрысковых сорняков (льнянка обыкновенная – 120 семян с одного растения) обусловлена биологическими особенностями растений, так как эти виды размножаются в основном вегетативным путем.

Наибольшая семенная продуктивность среди однолетних сорняков отмечена у звездчатки средней (15 тыс. шт.), мари белой (13,2 тыс. шт.), хамомиллы аптечной (8,6 тыс. шт.); среди многолетних сорняков – у ясколки дернистой (21,7 тыс. шт.), осота полевого (18 тыс. шт.), у щавеля малого и щучки дернистой (1,2 тыс. шт.). Весьма немногие малолетние сорняки образуют до 1000 семян. Таковы горец перечный, фиалка полевая, пастушья сумка. Среди многолетних сорняков до 1000 семян с растения – у подорожника большого, тысячелистника обыкновенного, тимофеевки луговой, льнянки обыкновенной, пырея ползучего.

Сравнительно невысокая плодовитость семян некоторых видов растений компенсируется хорошей их сохранностью. Резко выделяются своей плодовитостью сорняки, семена которых приспособлены распространяться самостоятельно при помощи ветра. Семена их имеют разного рода летучки. К ним относятся: осот полевой, иван-чай узколистный, мать-и-мачеха обыкновенная и др. Ряд сорняков образуют много мелких семян, которые, не имея летучек, легко разносятся ветром, водой, с частицами почвы, транспортом, ногами животных и людей. Такими сорняками являются пастушья сумка, подорожник большой [1].

Т а б л и ц а 3

Распределение семян по крупности

| Категория семян по крупности | Размеры семян по категориям, в мм | Число видов семян | | | |
|------------------------------|-----------------------------------|-------------------|-----|-------------|-----|
| | | однолетних | | многолетних | |
| | | шт. | % | шт. | % |
| Очень крупные | Свыше 8 | – | – | – | – |
| Крупные | 4 – 8 | – | – | 1 | 12 |
| Средние | 2 – 4 | 1 | 10 | 1 | 12 |
| Мелкие | 1 – 2 | 5 | 50 | 4 | 50 |
| Очень мелкие | до 1 | 4 | 40 | 2 | 26 |
| Всего | – | 10 | 100 | 8 | 100 |

Таким образом, широкому и быстрому распространению сорняков способствует их высокая семенная продуктивность. Поэтому нельзя допускать развитие сорной растительности до фазы семеношения на полях лесных питомников, чтобы избежать посева от злостных сорняков.

Семенная продуктивность растений

| Название растения | Среднее число генерирующих растений | | Среднее число семян | | | Среднее число семян по литературным данным [1; 3; 5; 6; 8; 11; 14; 15] | | |
|---|-------------------------------------|-------------|-------------------------|-------------|---------------|--|--------------------|--------------------------------------|
| | наши данные | | | | | тыс. шт./м ² | шт./га | тыс.шт./растение |
| | шт./м ² | тыс. шт./га | тыс. шт./м ² | млн. шт./га | шт./ растение | | | |
| <i>1</i> | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>4</i> | <i>5</i> | <i>6</i> | <i>7</i> | <i>8</i> | <i>9</i> |
| Пар | | | | | | | | |
| Торица полевая | 10,9 | 109,0 | 21,04 | 210,4 | 1930 | 28,2 [1]; 3–5 [11] | 2 тыс. [8] | 1–10 [14] |
| Горец перечный | 3,0 | 30,0 | 0,6 | 6,0 | 200 | | | |
| Тысячелистник обыкновенный | 2,4 | 24,0 | 0,96 | 9,6 | 400 | | | 26,8 [1]; до 25 [11] |
| Фиалка трехцветная | 1,2 | 12,0 | 2,04 | 20,4 | 1700 | | | |
| Льнянка обыкновенная | 1,2 | 12,0 | 0,15 | 1,5 | 120 | | | 31,7 [1]; 8–30 [11] |
| Марь белая | 0,7 | 7,0 | 9,24 | 92,4 | 13200 | 59,1 [8]; | 4–6 ц/га семян [6] | 700 [1]; до 100 [15]; 200–20 [14] |
| Иван-чай узколистный | 0,6 | 6,0 | – | – | – | | | 200 [1]; 20 [11] |
| Щавель малый | 0,6 | 6,0 | 7,2 | 7,2 | 1200 | | | 8 [1]; 1–2,5 [11] |
| Осот полевой | 0,2 | 2,0 | 3,6 | 36,0 | 18000 | | | 19 [1, 14]; 5–30 [11] |
| Поле с сеянцами 1 года выращивания | | | | | | | | |
| Пастушья сумка | 3,1 | 31,0 | 1,09 | 10,9 | 350 | 345 [1] | | 73 [1]; 5 [14]; 75 [3]; 2–7 [11]; |
| Фиалка полевая | 2,7 | 27,0 | 0,51 | 5,1 | 190 | | 49 тыс. [8] | 3,2 [14]; до 3 [3]; |
| Фиалка трехцветная | 2,4 | 24,0 | 4,08 | 40,8 | 1700 | | | 2,5 [11] |
| Иван-чай узколистный | 2,2 | 22,0 | – | – | – | | | до 20 [11]; 200 [1] |
| Льнянка обыкновенная | 1,8 | 18,0 | 0,22 | 2,2 | 120 | | | 31,7 [1] |
| Пырей ползучий | 1,1 | 11,0 | 0,02 | 0,2 | 15 | | | 0,2 [1, 3]; 0,3–1 [11]; 0,05 [14] |
| Щучка дернистая | 0,9 | 9,0 | 1,04 | 10,4 | 1150 | | | |
| Звездчатка средняя | 0,6 | 6,0 | 9,0 | 90,0 | 15000 | 11,6 [8] | | 15–25 [1, 6, 7]; 25 [3]; 11 [14]; |
| Хамомила аптечная | 0,3 | 3,0 | 2,57 | 25,7 | 8550 | | | 29,67 [1]; до 5 [11] |

| Название растения | Среднее число генерирующих растений | | Среднее число семян | | | Среднее число семян по литературным данным [1; 3; 5; 6; 8; 11; 14; 15] | | |
|---|-------------------------------------|-------------|-------------------------|-------------|---------------|--|-----------------------|---|
| | наши данные | | | | | тыс. шт./м ² | шт./га | тыс.шт./ растение |
| | шт./м ² | тыс. шт./га | тыс. шт./м ² | млн. шт./га | шт./ растение | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Поле с сеянцами 2 года выращивания | | | | | | | | |
| Фиалка полевая | 4,5 | 45,0 | 0,855 | 8,55 | 190 | 4,9 [8] | | 3,2 [14]; до 3 [3]; |
| Щучка дернистая | 1,1 | 11,0 | 1,265 | 12,65 | 1150 | | | |
| Звездчатка средняя | 0,7 | 7,0 | 10,5 | 105,0 | 15000 | 11,6 [8] | | 15–25 [1, 6, 9, 11]; 11 [14]; |
| Щавель малый | 0,7 | 7,0 | 0,84 | 8,4 | 1200 | | | 8 [1]; 1–2,5 [11] |
| Тысячелистник обыкн. | 0,6 | 6,0 | 0,24 | 2,4 | 400 | | | 26,8 [1]; до 25 [11] |
| Иван-чай узколистный | 0,6 | 6,0 | – | – | – | | | 200 [1]; 20 [11] |
| Торица полевая | 0,5 | 5,0 | 0,963 | 9,63 | 1925 | 0,2 [8] | | 28,2 [1]; 3–5 [11]; 1–10 [14] |
| Фиалка трехцветная | 0,4 | 4,0 | 0,68 | 6,8 | 1700 | | | 2,5 [11] |
| Подорожник большой | 0,2 | 2,0 | 0,18 | 1,8 | 900 | | | до 60 [6]; 0,2–390 [1]; до 60 [11] |
| Марь белая | 0,2 | 2,0 | 2,64 | 26,4 | 13200 | 59,1 [8]; | 4-6 ц/га семян [6] | 700 [1]; до 100 [15]; 0,2–20 [14]; 100–700 [3] |
| Хамомилла аптечная | 0,1 | 1,0 | 0,86 | 8,6 | 8550 | | | 29670 [1]; до 5 [11] |
| Пырей ползучий | 0,1 | 1,0 | 0,002 | 0,02 | 15 | | | 0,2 [1, 3]; 0,3, – 1,0 [11]; 0,05 [14] |
| Тимофеевка луговая | – | – | – | – | 130 | | | до 17 [11] |
| Ясколка дернистая | – | – | – | – | 21700 | | | 28,7 [1]; 1,2–1,3 [11] |

На процесс формирования сорняков оказывают влияние густота произрастания и масса культурного растения. Под покровом интенсивно растущих, а значит, сильно иссушающих и затеняющих почву культур, семена прорастают хуже, а появившиеся всходы гибнут чаще, чем в посевах с изреженными культурами. Так, например, в посевах хорошо развитых трехлетних сеянцев ели условия для развития малолетних сорняков намного хуже, чем на паровых полях и полях с однолетними и двулетними сеянцами ели.

Данные, приведенные в табл. 5, характеризуют число семян, которые могут попасть на поверхность почвы.

Таблица 5

**Прогнозируемый урожай семян в зависимости
от проективного покрытия сорными растениями, тыс. шт./м²**

| Сорное растение | Урожай семян при проективном покрытии сорняками, % | | | | |
|----------------------------|--|-------|-------|-------|--------|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| Звездчатка средняя | 210,0 | 420,0 | 630,0 | 840,0 | 1050,0 |
| Осот полевой | 144,0 | 288,0 | 432,0 | 576,0 | 720,0 |
| Иван-чай узколистный | 120,0 | 240,0 | 390,0 | 510,0 | 630,0 |
| Марь белая | 39,6 | 79,2 | 118,8 | 158,4 | 198,0 |
| Хамомилла аптечная | 34,2 | 68,4 | 102,6 | 136,8 | 171,0 |
| Щавель малый | 27,6 | 55,2 | 82,8 | 110,4 | 138,0 |
| Торица полевая | 19,3 | 38,6 | 59,7 | 77,2 | 96,5 |
| Подорожник большой | 14,4 | 28,8 | 43,2 | 57,6 | 72,0 |
| Пастушья сумка | 14,0 | 28,0 | 42,0 | 56,0 | 70,0 |
| Щучка дернистая | 5,8 | 11,6 | 17,4 | 23,2 | 29,0 |
| Тысячелистник обыкновенный | 5,6 | 11,2 | 16,8 | 22,4 | 28,0 |
| Фиалка трехцветная | 5,1 | 10,2 | 15,3 | 20,4 | 25,5 |
| Фиалка полевая | 3,5 | 7,0 | 10,5 | 14,0 | 17,5 |
| Горец перечный | 3,0 | 6,0 | 9,0 | 12,0 | 15,0 |
| Льнянка обыкновенная | 2,4 | 4,8 | 7,2 | 9,6 | 12,0 |
| Пырей ползучий | 0,7 | 1,4 | 2,1 | 2,8 | 3,5 |

Определение всхожести семян сорных растений представляет теоретический интерес и большое производственное значение. В лабораторных условиях путем проращивания определена всхожесть семян сорных растений, собранных в Нянском лесном питомнике. Почти стопроцентной всхожестью отличаются семена звездчатки средней (табл. 6).

В лабораторных условиях хорошо прорастают семена тимopheевки луговой (95%), подорожника большого (94%), фиалки трехцветной (79%), фиалки полевой (61%), яснотки дернистой (88%), щучки дернистой (73%), осота полевого (57%). В отличие от семян большинства сорняков семена иван-чая узколистного, осота полевого прорастают растянато.

По литературным данным, всхожесть зрелых свежесобранных семян иван-чая узколистного достигает 90%, но к весне снижается до 35%. Семена щучки дернистой способны прорасти без периода зимнего покоя. Всхожесть семян высокая, 80–100%.

В силу своих биологических особенностей в лабораторных условиях не проросли семена следующих корневищных и корнеотпрысковых многолетников: льнянки обыкновенной, тысячелистника обыкновенного, ромашки аптечной, щавеля малого, пырея ползучего, также однолетника – горца перечного. Многие из них имеют либо длительный период покоя, либо твердую структуру семенной оболочки, препятствующей проникновению в семена воды, воздуха – факторов, активизирующих жизнедеятельность

семян. В. Н. Доброхотов [11] определяет причину низкой всхожести (4%) мари белой в том, что в пределах одного растения данного вида наблюдается полиморфизм.

Таблица 6
Всхожесть семян сорных растений

| Сорное растение | Энергия прорастания, % | Всхожесть, % |
|--------------------------------|------------------------|--------------|
| Марь белая | 0 | 4 |
| Фиалка трехцветная | 70 | 79 |
| Фиалка полевая | 51 | 61 |
| Торица полевая | 9 | 12 |
| Пастушья сумка | 1 | 6 |
| Звездчатка средняя | 97 | 99 |
| Однолетние сорняки | 38 | 44 |
| Ясколка дернистая | 85 | 88 |
| Осот полевой | 24 | 57 |
| Подорожник большой | 88 | 94 |
| Иван-чай узколистный | 19 | 49 |
| Многолетние двудольные | 54 | 72 |
| Щучка дернистая | 57 | 73 |
| Тимофеевка луговая | 90 | 95 |
| Многолетние однодольные | 74 | 84 |
| Многолетние сорняки | 61 | 76 |

В результате наших исследований выявлена повышенная в 1,5 раза всхожесть семян злаковых сорняков, в сравнении с двудольными (при лабораторной проверке всхожесть злаковых составляет 84, а двудольных – 55%); всхожесть семян многолетних сорняков в 1,7 раза выше, чем семян однолетних (всхожесть многолетних составляет 76, а однолетних – 44%).

Корреляционный анализ показал, что количество семян с растения в основном подчиняется следующей закономерности: чем мельче семена, тем больше семян

насчитывается с растения, и тем выше процент всхожести семян. Наиболее качественно передают взаимосвязь между этими показателями логарифмические и степенные уравнения (табл. 7).

Таким образом, корреляционный анализ свидетельствует об обратной связи между размером семян и количеством их в растении, а также о прямой связи между числом семян с растения и их всхожестью.

Таблица 7

Модели зависимости длины семени, массы 1000 шт. семян и всхожести от числа семян с растения

| Показатели | Коэффициент корреляции, r | Достоверность коэффициента корреляции, t | Уравнения регрессии |
|---|---------------------------|--|---------------------------|
| Длина семени (Y) и число семян с растения (X) | -0,801±0,09 | 8,9 | $y = 6,337x^{-0,21}$ |
| Масса 1000 шт. семян (Y) и число семян с растения (X) | -0,745±0,12 | 6,2 | $y = -0,20\ln(x) + 1,882$ |
| Всхожесть (Y) и число семян с растения (X) | 0,749±0,12 | 6,3 | $y = 14,94\ln(x) - 63,92$ |

Выводы. Чтобы успешно вести борьбу с сорняками, необходимо хорошо знать их биологические особенности и уметь использовать агротехнические мероприятия в борьбе с сорняками, приурочивая их ко времени массового появления всходов злостных сорняков. Меры борьбы с сорняками должны строиться на конкретных значениях видовой и количественной представленности видов растений, на детальном знании их биологических особенностей.

Впервые исследованный ассортимент сорной растительности питомников средней подзоны тайги Архангельской области насчитывает в своем составе 109 видов сосудистых растений, относящихся к 86 родам и 29 семействам. Биометрические показатели семян (длина, ширина, масса 1000 шт. семян) изучаемых видов в питомниках средней подзоны тайги уступают таковым в южных районах. Большинство видов растений

(83 %) имеют мелкие и очень мелкие размеры семян. Всхожесть семян многолетних сорняков (76 %) в 1,7 раза выше, чем семян однолетних (44 %). Наблюдается обратная связь между размером семян и количеством их на растении, а также прямая связь – между числом семян с растения и их всхожестью ($r = - 0,745; 0,749; - 0,801$).

Список литературы

1. Котт, С. А. Справочное пособие по борьбе с сорными растениями / С. А. Котт. – М.: Учпедгиз, 1961. – 248 с.
2. Бирюков, В. И. Сорные растения постоянных питомников Нечерноземья и меры борьбы с ними / В. И. Бирюков, В. В. Бирюкова, В. С. Поляков, В. Ф. Рай, Р. Н. Стрекаловская. – Брянск, 1982. – 106 с.
3. Кислова, Н. М. Полезные сорняки / Н. М. Кислова. – М.: АСТ-ПРЕСС КНИГА, 2006. – 288 с.
4. Сытина, Л. С. К изучению семенной продуктивности ковра безостого (BROMOPSIS INERMIS HOLUB) / Л. С. Сытина // Вопросы биологии семенного размножения. – Ульяновск, 1981. – С. 90–99.
5. Сорные растения // Полезные и вредные растения Ленинградской области. – Л.: Лениздат, 1970. – С. 165–174.
6. Стрижев, А. Русское разнотравье: Справочник / А. Стрижев. – М.: Дрофа-Джамайка, 1995. – 576 с.
7. Тихонова, В. Л. Банк семян / В. Л. Тихонова // Эмбриология цветковых растений. – Т. 3. – СПб., 2000. – С. 286–288.
8. Самсонова, В. П. Учет и картографирование сорной растительности / В. П. Самсонова, Ю. Н. Благовещенский, М. И. Кондрашкина. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К^о», 2006. – 88 с.
9. Работнов, Т. А. Методы изучения семенного размножения травянистых растений в сообществах / Т. А. Работнов // Полевая геоботаника. – Т. 2. – М. – Л.: АН СССР, 1960. – С. 20–40.
10. Василевич, В. И. Статистические методы в геоботанике / В. И. Василевич. – Л.: Наука, 1969. – 232 с.
11. Доброхотов, В. Н. Семена сорных растений / В. Н. Доброхотов. – М.: Сельхозиздат, 1961. – 414 с.
12. Шмидт, В. М. Флора Архангельской области / В. М. Шмидт. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2005. – 346 с.
13. Тюрин, А. В. Основы вариационной статистики в применении к лесоводству / А. В. Тюрин. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1961. – 103 с.
14. Бешанов, А. В. Борьба с сорняками на полях Нечерноземья / А. В. Бешанов, Г. Е. Шилов, О. С. Выдрина. – Л.: Колос. Ленинградское отделение, 1983. – 166 с.
15. Шутов, И. В. Применение гербицидов при лесовыращивании / И. В. Шутов, Л. М. Козлова, В. П. Бельков, П. А. Самгин, А. Н. Мартынов. – М.: Лесная промышленность, 1967. – 186 с.

Статья поступила в редакцию 05.05.10.

I. S. Nechaeva, N. A. Babich

REPRODUCTIVE FEATURES OF WEED PLANTS OF THE TREE NURSERIES

Floristic composition and reproductive and morphological features of weed plants of the forest nurseries are studied. The conducted researches supplement with some knowledge of seed efficiency of the weeds and it allows to improve the system of agro-technical actions in the forest nurseries.

Key words: *tree nurseries, weed kinds, a seed reproduction of weeds, seed morphology, germinating capacity, germination energy.*

НЕЧАЕВА Ирина Сергеевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры экологии и защиты леса Северного (Арктического) федерального университета. Область научных интересов – лесные питомники, выращивание посадочного материала, сорная растительность. Автор шести публикаций.

E-mail: neirene@yandex.ru

БАБИЧ Николай Алексеевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур и ландшафтного строительства Северного (Арктического) федерального университета. Область научных интересов – лесные культуры таежной зоны, лесные питомники, биологическая продуктивность насаждений, качество древесины. Автор более 220 публикаций.

E-mail: les@agtu.ru

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

УДК 674*416

А. Н. Чемоданов, Р. Х. Гайнуллин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ПРОДОЛЬНОГО РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ НА ШПОН

Описана методика расчета усилий резания при продольном строгании древесины на шпон. Получены численные значения поправочных коэффициентов, учитывающих толщину и степень обжима шпона.

Ключевые слова: *древесина, шпон, продольное строгание, поправочные коэффициенты, математическая модель.*

Введение. Вопросы стружкообразования при строгании древесины на шпон подробно освещены в трудах различных авторов [1–3]. Однако все они относятся к получению шпона строганием поперек волокон. Соответственно и силовые расчеты процесса строгания шпона тоже относятся применительно к поперечному (поперечно-продольному) строганию. С появлением технологии и оборудования для продольного (продольно-поперечного) строгания древесины на шпон [4, 5] возникла необходимость в выявлении закономерностей процессов образования стружки, энергозатрат и т.д.

Большинством авторов [2, 3, 6] при поступательно движущемся режущем инструменте усилие резания при строгании древесины на шпон определялось как сумма двух составляющих, действующих со стороны лезвия ножа P_{Δ} и прижимной линейки P_{Π} , объединенных в одно усилие $P_{\text{бл}}$ (рис. 1)

$$P_{\text{бл}} = P_{\Delta} + P_{\Pi}. \quad (1)$$

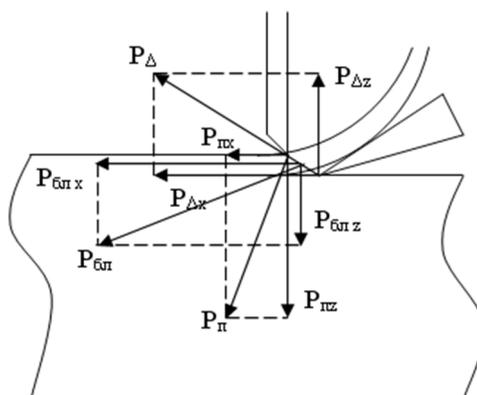


Рис. 1. Схема сил, действующих на заготовку со стороны реза и прижимной линейки при строгании шпона поперек волокон древесины

Для упрощения расчетов в работах [2, 6] силу $P_{\text{бл}}$, действующую со стороны блока нож – прижимная линейка на заготовку, принимают как произведение

$$P_{\text{бл}} = P_1 \cdot b, \quad (2)$$

где P_1 – единичная сила резания гидротермически обработанной древесины с обжимом стружки прижимной линейкой;

b – ширина стружки, равная длине заготовки.

Для определения единичной силы резания авторы [3, 6] воспользовались формулой

$$P_1 = P_{1 \text{ табл}} \cdot a_{\text{п}} \cdot a_{\text{т}} \cdot a_{\text{р}} \cdot a_{\text{ф}}, \quad (3)$$

где $P_{1 \text{ табл}}$ – табличное значение единичной силы резания гидротермически обработанной древесины;

$a_{\text{п}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий породу древесины;

$a_{\text{т}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий температуру древесины;

$a_{\text{р}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий затупление ножа и линейки;

$a_{\text{ф}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий угол наклона лезвия ножа к направлению волокон древесины.

Численные значения $P_{1 \text{ табл}}$ определяются экспериментальным путем для различных условий. Данный метод очень трудоемок ввиду большого количества опытов.

В работах [7, 8] усилие резания при строгании определяется как сумма сил резания древесины $P_{\text{р}}$ и силы трения от обжима $P_{\text{т}}$

$$P_{\text{бл}} = P_{\text{р}} + P_{\text{т}}. \quad (4)$$

В свою очередь силы резания $P_{\text{р}}$ и трения $P_{\text{т}}$ определяются по зависимостям

$$P_{\text{р}} = K \cdot b \cdot e, \quad (5)$$

$$P_{\text{т}} = p \cdot b \cdot f, \quad (6)$$

где K – удельное сопротивление резанию древесины;

b – ширина стружки;

e – толщина стружки;

p – интенсивность обжима на единицу длины прижимной линейки;

f – коэффициент трения прижимной линейки по древесине.

Значения p и f определяются экспериментальным путем. Однако указанные величины изменяются в широких пределах, что затрудняет их определение при различных условиях.

Авторами [1, 9, 10] для определения усилия резания при строгании предложена зависимость

$$P_{\text{бл}} = K \cdot e \cdot l, \quad (7)$$

где K – удельное сопротивление резанию при строгании;

e – толщина шпона;

l – длина заготовки.

При дальнейших расчетах удельного сопротивления резанию при строгании авторы [1, 10] на основании экспериментальных данных получили уравнение

$$K = 0,118V^{-0,266} e^{-0,314} t^{-0,173} \Delta^{0,4+0,5S+1,1/\Delta}, \quad (8)$$

где V – скорость резания;

e – толщина шпона;

t – температура заготовки;

Δ – степень обжима древесины.

Вычисление удельного сопротивления резанию K при строгании затрудняется без наличия вычислительной техники ввиду сложных степенных зависимостей.

Для упрощения расчетов указанная зависимость автором [9] представлена в виде

$$K = K_0 \cdot a_{\text{п}} \cdot a_{\text{в}} \cdot a_{\text{т}} \cdot a_{\text{ф}} \cdot a_{\Delta}, \quad (9)$$

где K_0 – основное удельное сопротивление резанию;
 a_n – поправочный коэффициент, учитывающий породу древесины;
 a_v – поправочный коэффициент, учитывающий скорость резания;
 a_h – поправочный коэффициент, учитывающий толщину шпона;
 a_t – поправочный коэффициент, учитывающий температуру древесины;
 a_Δ – поправочный коэффициент, учитывающий степень обжима древесины.

Вышеупомянутые поправочные коэффициенты определены экспериментально и широко используются для технологических расчетов.

Все описанные методики расчета усилий резания справедливы для поперечного и поперечно-продольного строгания древесины на шпон. Часть из них применима для расчетов продольного и продольно-поперечного строгания, но точность результатов будет невысокой. Это связано с анизотропией древесины, так как характер ее поведения при резании в продольном (продольно-поперечном) направлении будет отличаться от поперечного (поперечно-продольного).

Целью настоящей работы является разработка математической модели процесса строгания древесины на шпон вдоль волокон. Для этого поставлены следующие **задачи**: механико-математическим методом определить усилия, возникающие в процессе продольного строгания; аналитико-экспериментальным методом получить численные значения поправочных коэффициентов, учитывающих толщину и степень обжима шпона.

Аналитическое моделирование. Наиболее подходящей для расчета усилий резания при строгании шпона вдоль волокон является формула (4), предложенная авторами [7, 8]. Рассмотрим каждую из составляющих с механико-математической точки зрения.

Расчет усилий резания древесины подробно описан проф. С. А. Воскресенским [11]. Согласно его теории, при малом угле резания и большой толщине стружки, что имеет место при строгании шпона, последнюю необходимо рассматривать как консольную балку, защемленную в месте приложения усилия прижима (рис. 2).

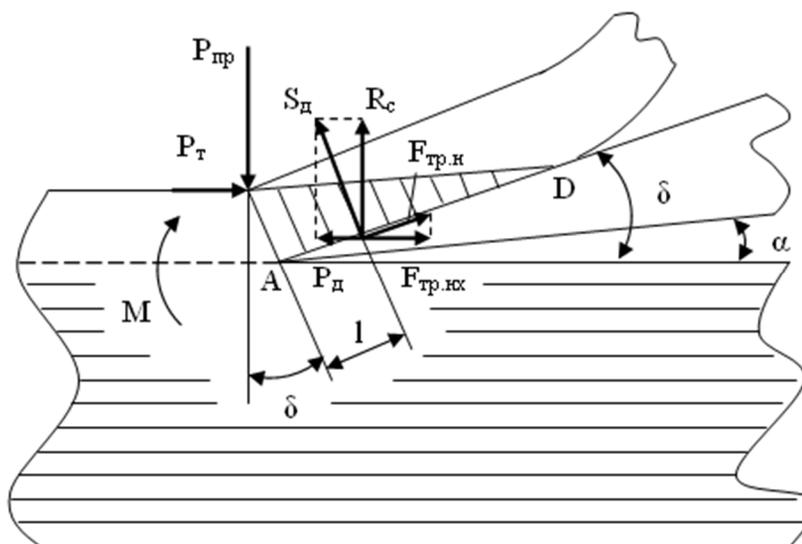


Рис. 2. Схема сил, действующих при строгании шпона вдоль волокон древесины

Нормальная сила на ноже S_d есть не что иное, как равнодействующая от распределенной нагрузки по длине контакта AD . Разложим эту силу на горизонтальную P_d и вертикальную R_c составляющие. При резании древесины вдоль волокон, как правило, происходит образование опережающей трещины перед лезвием реза, поэтому усилия

резания сводится к преодолению силы трения древесины о переднюю грань резца. Таким образом, горизонтальная составляющая силы резания определится из выражения

$$P_p = R_c \cdot \mu, \quad (10)$$

где μ – коэффициент трения древесины по передней грани резца.

Под действием силы R_c происходит изгиб срезанной части стружки вплоть до излома. Однако одним из условий получения качественного шпона является гладкая, без изломов, стружка. Для этих условий из рис. 2 найдем момент M , изгибающий подрезанную стружку

$$M = S_d \cdot l, \quad (11)$$

где $l = AD/3$ – расстояние от кончика резца до точки приложения равнодействующей силы S_d (плечо силы S_d).

В дальнейших расчетах целесообразно освободиться от силы S_d , приведя ее к силе R_c

$$S_d = \frac{R_c}{\cos \delta}, \quad (12)$$

где δ – угол резания.

Тогда выражение (11) примет вид

$$M = \frac{l \cdot R_c}{\cos \delta}. \quad (13)$$

В момент излома стружки имеет место равенство

$$M = \sigma_{\text{ви||}} \cdot W, \quad (14)$$

где $\sigma_{\text{ви||}}$ – предел прочности древесины при статическом изгибе;

W – момент сопротивления стружки.

Считая, что стружка по всей длине имеет одинаковую толщину e и ширину b , получим

$$W = \frac{b \cdot e^2}{6}, \quad (15)$$

откуда

$$M = \frac{\sigma_{\text{ви||}} \cdot b \cdot e^2}{6}. \quad (16)$$

Сопоставляя выражения (13) и (16), получим выражение для определения R_c , при котором излом стружки отсутствует

$$R_c \leq \frac{\sigma_{\text{ви||}} \cdot b \cdot e^2 \cdot \cos \delta}{6 \cdot l}. \quad (17)$$

Заменяя силу R_c в равенстве (10) на выражение (17), получим силу резания

$$P_p \leq \frac{\sigma_{\text{ви||}} \cdot b \cdot e^2 \cdot \cos \delta}{6 \cdot l} \cdot \mu. \quad (18)$$

Однако в дальнейшем проведенные лабораторные исследования [12] выявили несоответствие экспериментальных и теоретических данных, которые приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

**Результаты теоретических и экспериментальных данных
при резании древесины вдоль волокон**

| Толщина срезанного слоя, мм | Сила резания, Н | |
|-----------------------------|-----------------|-------------------|
| | теоретическая | экспериментальная |
| 1,0 | 109,29 | 286,37 |
| 1,5 | 245,92 | 409,1 |
| 2,0 | 437,18 | 572,74 |

Такое несоответствие вызвано тем, что выражение (18) не учитывает влияние на величину P_p свойств древесины: анизотропии, свилеватости и неоднородности.

В сделанные расчеты был введен коэффициент, учитывающий вышеперечисленные характеристики древесины. Необходимо отметить, что значение этого коэффициента будет различным для различных толщин срезаемого слоя и определится из выражения

$$a_{пр} = \frac{P_{р.эксп.}}{P_{р.теор.}} \quad (19)$$

Численные значения поправочного коэффициента $a_{пр}$ представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Значение поправочного коэффициента $a_{пр}$

| Толщина срезаемого слоя, мм | Коэффициент $a_{пр}$ |
|-----------------------------|----------------------|
| 1,0 | 2,62 |
| 1,5 | 1,66 |
| 2,0 | 1,31 |

С учетом данного коэффициента выражение (18) примет вид

$$P_{p \leq} = \frac{\sigma_{внл} \cdot b \cdot e^2 \cdot \cos \delta \cdot \mu}{6 \cdot l} a_{пр} \quad (20)$$

Далее определим величину силы трения от обжима древесины. От действия силы прижима древесина будет деформироваться в зоне действия прижимной линейки (рис. 3).

Эта деформация носит локальный характер, то есть происходит местное смятие. Полагая, что после приложения усилия прижима $P_{пр}$ древесина восстанавливается до прежних размеров, можно считать ее упругим телом. Для таких тел существует зависимость между напряжениями σ и деформациями ε [13]

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \quad (21)$$

где E – модуль упругости древесины при сжатии поперек волокон.

Соответственно усилие прижима, в результате которого возникают такие напряжения, определится по выражению

$$P_{пр ср} = \sigma \cdot A, \quad (22)$$

где A – площадь прижима.

Сила трения от прижима определится по формуле

$$P_{\tau} = P_{пр ср} \cdot \mu. \quad (23)$$

Для определения деформации воспользуемся выражением (рис. 3)

$$\varepsilon = \frac{(e-h)}{e}, \quad (24)$$

где e – толщина шпона,

h – вертикальная составляющая просвета между ножом и прижимной линейкой.

Под площадью прижима понимается половина площади горизонтальной проекции стороны DE треугольника ADE прижимной линейки. Используя тригонометрические функции, найдем ее значение

$$A = \frac{(e-h) \cdot \operatorname{tg} \beta' \cdot b}{2}, \quad (25)$$

где β' – угол между нажимной и задней гранями прижимной линейки.

С учетом (21), (22), (24) и (25) выражение (23) примет вид

$$P_{\tau} = \frac{(e-h)^2 \cdot E \cdot \operatorname{tg} \beta' \cdot b \cdot \mu}{2 \cdot e}. \quad (26)$$

Анализ результатов экспериментальных исследований [12] и значений P_T , полученных с использованием выражения (26), показал их несогласованность. Для расчета экспериментальных значений силы трения пользовались формулой

$$P_{T.эксп.} = P_{эксп.} - P_{р.эксп.}, \tag{27}$$

где $P_{эксп.}$ – усилие резания древесины с обжимом,

$P_{р.эксп.}$ – усилие резания древесины без обжима.

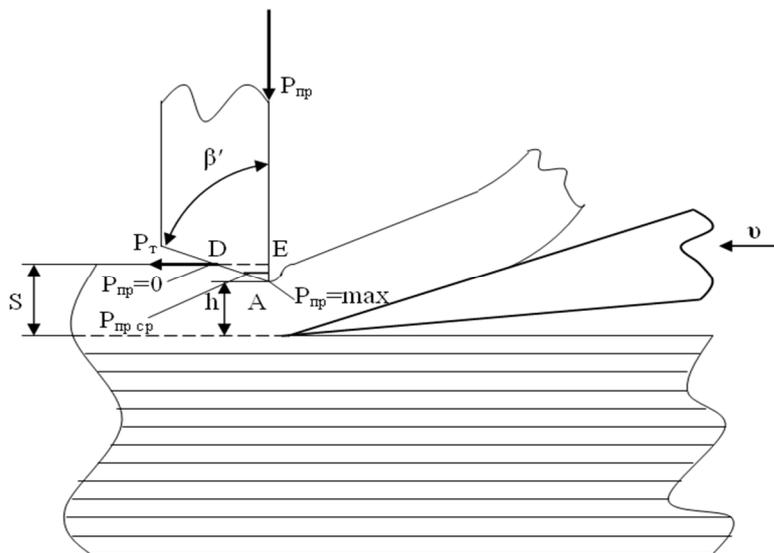


Рис. 3. Схема для расчета сил прижима и трения от обжима древесины

Результаты сводим в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

**Результаты теоретических и экспериментальных данных
силы трения прижимной линейки о древесину**

| Толщина срезаемого шпона, мм | Степень обжима, % | Сила трения, Н | |
|------------------------------|-------------------|----------------|-------------------|
| | | теоретическая | экспериментальная |
| 1,0 | 10 | 287,91 | 57,27 |
| | 15 | 530,28 | 139,09 |
| | 20 | 777,06 | 204,55 |
| 1,5 | 10 | 431,86 | 122,73 |
| | 15 | 767,76 | 286,37 |
| | 20 | 1199,62 | 368,19 |
| 2,0 | 10 | 575,82 | 294,55 |
| | 15 | 1005,48 | 433,65 |
| | 20 | 1622,43 | 466,37 |

Такое расхождение обусловлено тем, что модуль упругости древесины в смятом состоянии имеет несколько иное значение. Степень несоответствия выразим путем введения поправочного коэффициента, зависящего от толщины и степени обжима шпона

$$a_{пр} = \frac{P_{T.эксп.}}{P_{T.теор.}} \tag{28}$$

Численные значения поправочного коэффициента $a_{пр}$ представлены в табл. 4.

С учетом поправочного коэффициента выражение (26) примет вид

$$P_T = \frac{(e-h)^2 \cdot E \cdot \operatorname{tg} \beta' \cdot b \cdot \mu}{2 \cdot e} a_{пр} \tag{29}$$

Таким образом, общее усилие резания при строгании древесины вдоль волокон отобразится формулой

$$P_{\text{бл}} = \frac{\sigma_{\text{ви}} \cdot b \cdot e^2 \cdot \cos \delta \cdot \mu}{6 \cdot l} a_{\text{пр}} + \frac{(e-h)^2 \cdot E \cdot \text{tg} \beta' \cdot b \cdot \mu}{2 \cdot e} a_{\text{пр}}. \quad (30)$$

В производственных условиях строгание древесины на шпон ведется с наклоном лезвия ножа относительно волокон, то есть необходимо учесть этот угол коэффициентом $a_{\text{ф}}$.

Выражение (30) примет вид

$$P_{\text{бл}} = \left(\frac{\sigma_{\text{ви}} \cdot b \cdot e^2 \cdot \cos \delta \cdot \mu}{6 \cdot l} a_{\text{пр}} + \frac{(e-h)^2 \cdot E \cdot \text{tg} \beta' \cdot b \cdot \mu}{2 \cdot e} a_{\text{пр}} \right) \cdot a_{\text{ф}}. \quad (31)$$

Т а б л и ц а 4

Значение поправочного коэффициента $a_{\text{пр}}$

| Толщина строгаемого шпона, мм | Степень обжима, % | Коэффициент $a_{\text{пр}}$ |
|-------------------------------|-------------------|-----------------------------|
| 1,0 | 10 | 0,20 |
| | 15 | 0,26 |
| | 20 | 0,26 |
| 1,5 | 10 | 0,28 |
| | 15 | 0,37 |
| | 20 | 0,31 |
| 2,0 | 10 | 0,51 |
| | 15 | 0,43 |
| | 20 | 0,29 |

Согласованность теоретических расчетов с использованием зависимости (31) и экспериментальных данных отражена в табл. 5.

Т а б л и ц а 5

Степень согласованности теоретических и экспериментальных данных

| Толщина строгаемого шпона, мм | Степень обжима, % | Сила резания при строгании, Н | | Расхождение, % |
|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------|----------------|
| | | теоретическая | экспериментальная | |
| 1,0 | 10 | 343,94 | 343,64 | 0,09 |
| | 15 | 424,23 | 425,46 | 0,29 |
| | 20 | 488,39 | 490,92 | 0,52 |
| 1,5 | 10 | 529,14 | 531,83 | 0,51 |
| | 15 | 692,29 | 695,47 | 0,46 |
| | 20 | 780,10 | 777,29 | 0,36 |
| 2,0 | 10 | 866,38 | 867,29 | 0,11 |
| | 15 | 1005,07 | 1006,39 | 0,13 |
| | 20 | 1043,22 | 1039,11 | 0,39 |

Выводы.

1. Сопоставлением экспериментальных и теоретических данных получены численные значения поправочных коэффициентов:

– $a_{\text{пр}}$ при резании древесины различной толщины (табл. 2);

– $a_{\text{пр}}$ при строгании шпона различной толщины и степени обжима (табл. 4)

2. Разработана математическая модель процесса продольного резания древесины на шпон (31) с учетом поправочных коэффициентов.

3. Сравнение теоретических и экспериментальных данных показало высокую степень их согласованности (табл. 5).

Список литературы

1. Грубе, А. Э. Дереворежущие инструменты / А. Э. Грубе. – М.: Лесная промышленность, 1971. – 344 с.
2. Любченко, В. И. Резание древесины и древесных материалов: Учебное пособие для вузов / В. И. Любченко. – М.: Лесная промышленность, 1986. – 296 с.
3. Михеев, И. И. Производство лущеного и строганого шпона / И. И. Михеев, В. А. Воронов, В. И. Любченко. – М.: Высшая школа, 1970. – 246 с.
4. Патент № 2090358. РФ, МКИ 6 В27L5/00. Способ изготовления строганого шпона и станок для его осуществления / Нестеренко А. И. № 93053294/13; Заявл. 26.11.93; Оpubл. 20.09.97.
5. Проспект фирмы «Magunaka» – www.technica.net/magunaka/index.htm.
6. Плахов, В. Н. Производство строганого шпона / В. Н. Плахов. – М.: Лесная промышленность, 1975. – 128 с.
7. Дешевой, М. А. Механическая технология дерева. Ч. I / М. А. Дешевой. – Л.: Кубуч, 1934. – 550 с.
8. Манжос, Ф. М. Дереворежущие станки / Ф. М. Манжос. – 2-изд., перераб. – М.: Лесная промышленность, 1974. – 456 с.
9. Бершадский, А. Л. Резание древесины / А. Л. Бершадский. – М.: Гослесбумиздат, 1955.
10. Ивановский, Е. Г. Станки и инструменты по механической обработке древесины / Е. Г. Ивановский. – Л.: ВЗЛТИ, 1959.
11. Воскресенский, С. А. Резание древесины / С. А. Воскресенский. – М.: Гослесбумиздат, 1955. – 200 с.
12. Чемоданов, А. Н. Результаты исследования процесса продольного строгания древесины на шпон / А. Н. Чемоданов, Р. Х. Гайнуллин // Вестник МарГТУ. Серия «Лес. Экология. Природопользование». – 2010. – № 1. – С. 40–45.
13. Уголев, Б. Н. Деформативность древесины и напряжения при сушке / Б. Н. Уголев. – М.: Лесная промышленность, 1971. – 176 с.

Статья поступила в редакцию 19.07.10.

A. N. Chemodanov, R. Kh. Gainullin

**POWER CHARACTERISTICS DETECTION OF THE PROCESS
OF WOOD LONGITUDINAL SLICING TO VENEER**

The technique of calculating of the cutting forces in the longitudinal slicing of the wood to the veneer is described. Numerical values of evaluation factors, which take into account thickness and the degree of veneer crimp, are obtained.

Key words: *wood, veneer, longitudinal slicing, evaluation factors, mathematical model.*

ЧЕМОДАНОВ Александр Николаевич – кандидат технических наук, профессор кафедры деревообрабатывающих производств МарГТУ. Область научных интересов – технология и оборудование лесопромышленных складов, оборудование деревообрабатывающих производств, сушильные камеры периодического действия. Автор более 120 публикаций.

E-mail: ChemodanovAN@marstu.net

ГАЙНУЛЛИН Ренат Харисович – аспирант кафедры технологии и оборудования лесопромышленных производств МарГТУ. Область научных интересов – технология и оборудование лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств. Автор 10 публикаций.

E-mail: GajnullinRH@marstu.net

УДК 624.138.232

С. А. Чудинов

АДАПТАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Вызванные изменением климата тяжелые погодные проявления ограничивают использование традиционных дорожно-строительных материалов. Показана возможность строительства лесовозных дорог из укрепленных грунтов с использованием портландцемента и добавки полиэлектролита. Приведены результаты и анализ исследований физико-механических свойств укрепленных грунтов в условиях тяжелых климатических воздействий.

Ключевые слова: адаптационные технологии, лесовозные дороги, цементогрунт, укрепленный грунт, полиэлектролит.

Введение. По оценке российских ученых, большая часть территории России находится в области значительного наблюдаемого и прогнозируемого изменения климата [1]. Помимо роста температуры происходит и ряд других, связанных с потеплением, изменений в климатической системе. Они проявляются в усилении изменчивости погоды (сильные морозы, сменяющиеся резкими оттепелями зимой, рост числа необычайно жарких дней летом), в увеличении частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений (штормов, ураганов, наводнений, засух), усилении неравномерности выпадения осадков и т.п.

Наиболее уязвимыми в условиях изменения климата являются естественные природные системы. В настоящее время существует угроза для лесных экосистем, поскольку изменение климата происходит быстрее, чем природа может приспособиться к этим изменениям. Сохранение и улучшение состояния лесных массивов является приоритетной задачей в смягчении последствий глобального потепления, поскольку леса поглощают не только углекислый газ, являющийся основным парниковым газом, но и тяжелые металлы, опасные соединения хлора, серы, азота и т.п. Заблаговременные действия могут свести к минимуму угрозы в отношении лесных экосистем, здоровья человека, а также принести заметную экономическую выгоду.

В сложившихся условиях важнейшим является ведение интенсивного лесного хозяйства и организация экономичного лесопользования, направленного на охрану природы, сохранение и преумножение ее биоразнообразия. Одним из главных факторов эффективности реализации данных мероприятий является уровень развития транспортной инфраструктуры. Строительство сети недорогих, качественных лесовозных дорог позволит обеспечить доступ ко всем участкам лесного фонда вне зависимости от погодных условий, снизить транспортные расходы, увеличить эффективность борьбы с лесными пожарами, а также сократить выбросы вредных отработанных газов автотранспорта [2].

Строительство лесовозных дорог из укрепленных грунтов является наиболее действенной, экономичной и ресурсосберегающей технологией, поскольку позволяет использовать имеющиеся грунты в качестве конструкционных материалов дорожной

одежды [3]. Однако вызванные изменением климата тяжелые погодные проявления (увеличение числа суток с попеременным переходом температуры воздуха через ноль, увеличение количества осадков, уменьшение максимальной продолжительности сухих периодов, повышение уровня грунтовых вод и т.п.) ограничивают использование традиционных дорожно-строительных материалов, требуя реализации адаптационных технологий в данной сфере.

Цель работы: исследование эффективных технологий строительства лесовозных дорог из укрепленных грунтов в условиях изменения климата.

Пути решения поставленной задачи: одной из перспективных технологий строительства лесовозных дорог в указанных условиях является укрепление грунтов портландцементом (ПЦ) с добавкой полиэлектролита (ПЭ). Данный полиэлектролит – это высокомолекулярный сильноосновной катионный полимер линейно-циклической структуры. При введении в глинистый грунт раствора этого вещества происходит его диссоциация с образованием сложного полимерного органического катиона, который активно взаимодействует с ацидоидами глинистого грунта. Действие полиэлектролита направлено на изменение электрических свойств глинистых коллоидов и обусловлено их нейтрализацией с уменьшением общего ζ -потенциала, а также одновременным сжатием двойного диффузного слоя. В результате происходит сокращение или даже полное исчезновение слоя сорбционной воды вокруг глинистых коллоидов, снижается емкость обменного поглощения и становится дисперсной, однородной и гомогенной структура глинистого грунта. Благодаря данным процессам, повышается эффективность реакций структурообразования портландцемента, что значительно улучшает морозостойкость, прочностные и деформационные показатели цементогрунта.

Стоит отметить, что указанное влияние добавки полиэлектролита на макроструктуру и электрические свойства глинистых грунтов позволяет использовать для укрепления портландцементом грунты с числом пластичности более 12 без улучшения зернового состава песком и доведением числа пластичности до 12.

Методика исследований. Для изучения физико-механических показателей укрепленных грунтов в условиях экстремальных климатических воздействий был проведен ряд лабораторных исследований. Для испытаний был взят суглинистый грунт (табл.), портландцемент марки 400 и полиэлектролит.

Характеристика укрепляемого грунта (суглинок тяжелый)

| | |
|---|------|
| Удельный вес грунта, т/м ³ | 2,68 |
| Влажность на границе текучести, % по массе | 30 |
| Влажность на границе раскатывания, % по массе | 16 |
| Число пластичности | 14 |
| Оптимальная влажность, % по массе | 19 |
| Содержание гумусовых веществ, % по массе | 1,6 |

Для исследования цементогрунтов на предел прочности при сжатии образцы укреплялись 2, 4, 6, 8% портландцемента с добавкой 0,8; 0,45; 0,2; 0,1% полиэлектролита от массы грунта соответственно и испытывались в возрасте семи суток твердения в водонасыщенном состоянии по стандартной методике ГОСТ 10180. Контрольные образцы укреплялись одним цементом с той же дозировкой.

Полное водонасыщение укрепленных грунтов осуществлялось по ГОСТ 23558-94. Величина водонасыщения вычислялась по формуле:

$$W_{\text{полное}} = \frac{P_3 - P_1}{P_1 - P_2} 100 \%,$$

где: P_1 – масса образца на воздухе до водонасыщения, г;

P_2 – масса образца в воде до водонасыщения, г;

P_3 – масса образца на воздухе после водонасыщения, г.

Для определения водонасыщения использовались образцы, укрепленные 2, 4, 6, 8% портландцемента с добавкой 0,8; 0,45; 0,2; 0,1% полиэлектrolита от массы грунта соответственно и испытывались в возрасте семи суток твердения. Контрольные образцы укреплялись одним цементом с той же дозировкой.

Оценка морозостойкости грунтов, укрепленных цементом с добавкой полиэлектrolита, проводилась согласно требованиям ГОСТ 23558-94. Образцы были изготовлены с добавкой 6% портландцемента и 0,3% полиэлектrolита от массы грунта. С целью создания равных начальных условий проведения эксперимента контрольные образцы укреплялись одним цементом в количестве 8% от массы грунта. В опытах было принято: количество циклов замораживания-оттаивания – 25; температура замораживания $-18 \pm 2^\circ\text{C}$; степень водонасыщения – полное.

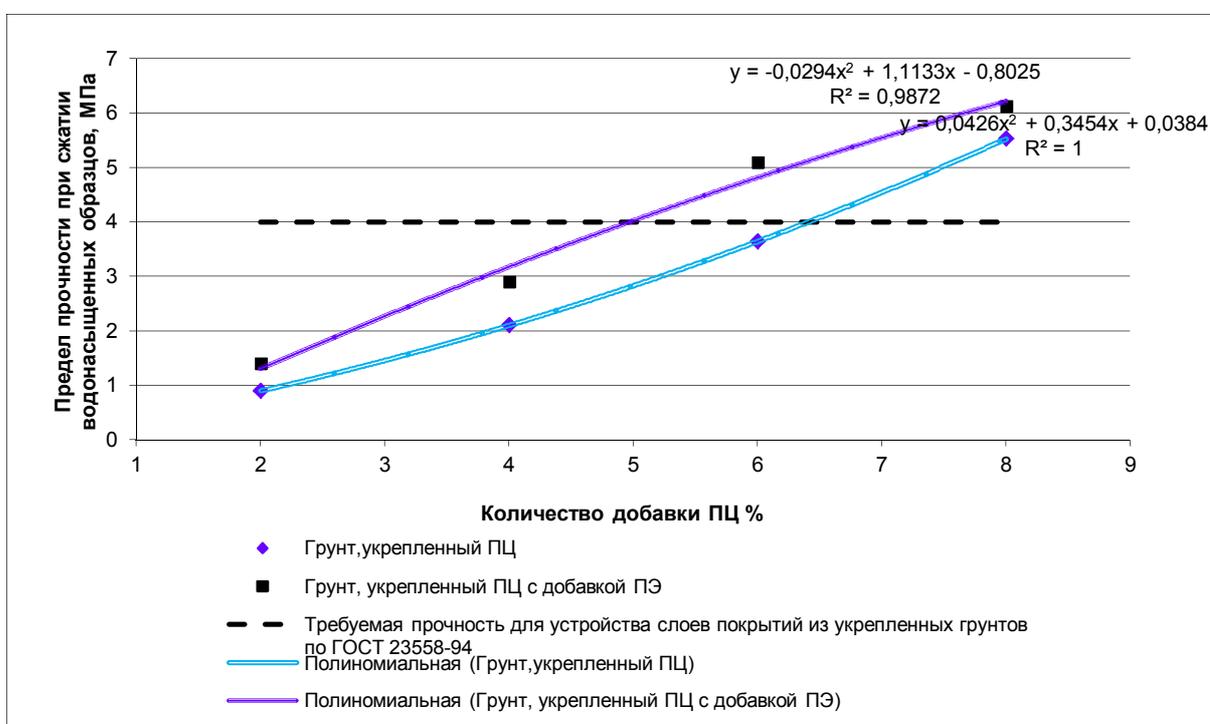


Рис. 1. Изменение предела прочности при сжатии цементогрунтовых образцов в зависимости от содержания портландцемента и полиэлектrolита

Анализ результатов. Из рис. 1 видно, что добавка полиэлектrolита способствует существенному увеличению прочности цементогрунта. Например, у образцов, укрепленных 6% портландцемента с добавкой 0,2% полиэлектrolита, предел прочности при сжатии выше на 40%, чем у соответствующих образцов, укрепленных одним минеральным вяжущим. При этом предел прочности контрольных образцов с добавкой 6% портландцемента ниже требуемой прочности на 10%, а предел прочности соответствующих цементогрунтовых образцов с добавкой полиэлектrolита выше требуемой на 28%, что может обеспечить надежность конструкции дорожной одежды в агрессивных природно-климатических условиях и при повышенных транспортно-эксплуатационных нагрузках.

Как показывают данные полного водонасыщения (рис. 2), введение добавки полиэлектrolита приводит к значительному снижению данного показателя. Допустимый уровень водонасыщения наблюдается при введении 4% портландцемента и 0,45% полиэлектrolита. Образцы, укрепленные одним портландцементом, достигают допустимого водонасыщения лишь при добавлении 6% минерального вяжущего. Добавка 6% портландцемента и 0,2% полиэлектrolита позволяет получать цементогрунт с показателем водонасыщения на 53% меньшим, чем требуемое для укрепленных грунтов I класса прочности, что является важным для долговременной, стабильной работы дорожной одежды при постоянной повышенной влажности рабочего слоя земляного полотна, обильных осадках и других характерных условиях изменяющегося климата.

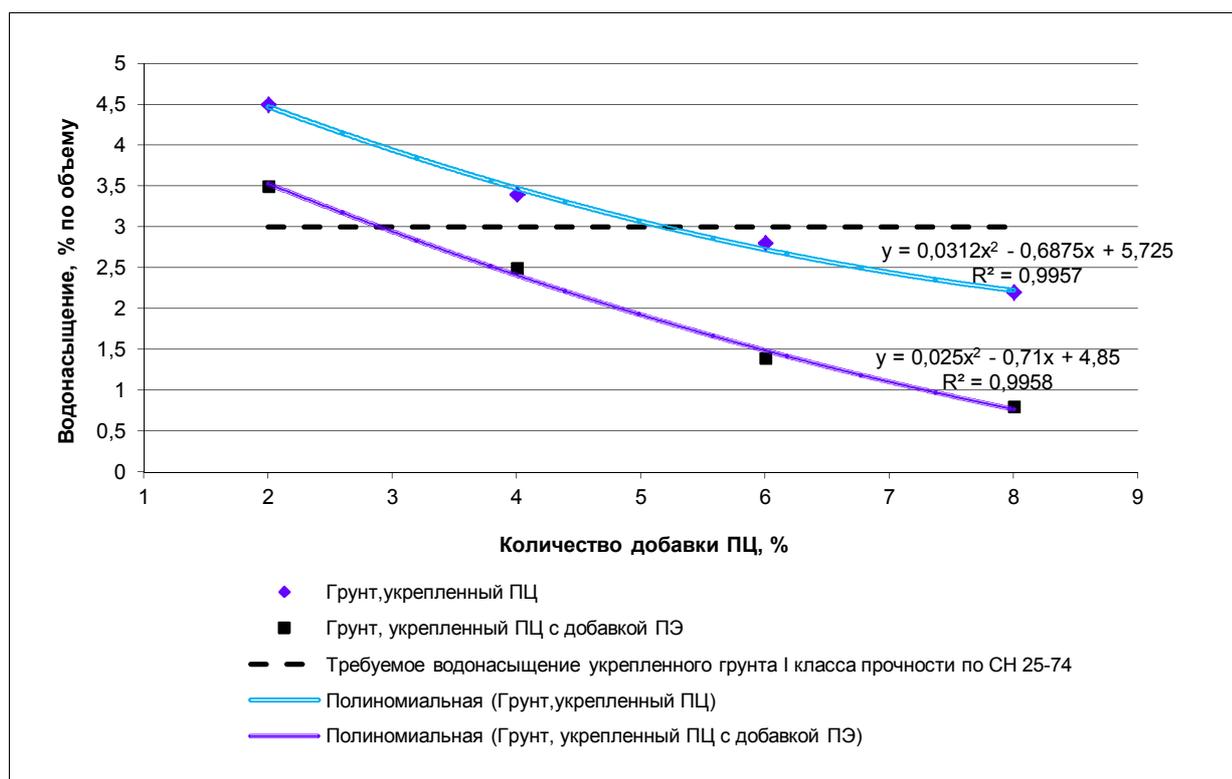


Рис. 2. Изменение водонасыщения цементогрунтовых образцов в зависимости от содержания портландцемента и полиэлектrolита

Данные экспериментов по морозостойкости (рис. 3) свидетельствуют о высокой эффективности добавки полиэлектrolита. Из графика видно, что введение полиэлектrolита позволяет значительно повысить морозостойкость цементогрунтовой смеси при снижении необходимого содержания минерального вяжущего. Так грунт, укрепленный 8% портландцемента, соответствует марке по морозостойкости F10, а введение 6% портландцемента и 0,3% полиэлектrolита позволяет достичь марки по морозостойкости F20. С учетом того, что укрепленные грунты с более низкой маркой по морозостойкости F15 рекомендованы для строительства слоев оснований в районах со среднемесячной температурой воздуха наиболее холодного месяца от -15 до -30°C , а также для строительства покрытий со слоем износа в районах со среднемесячной температурой воздуха наиболее холодного месяца от -5 до -15°C использование цементогрунта, укрепленного портландцементом с добавкой полиэлектrolита во II дорожно-климатической зоне, где расположены основные запасы леса, оправдывается не только высокой технической гарантией, но и экономической выгодой. Кроме этого, повыше-

ние морозостойкости цементогрунтов с использованием добавки полиэлектролита может обеспечить надежность конструкции дорожных одежд, учитывая одну из важных тенденций изменяющегося климата: увеличение числа суток с попеременным переходом температуры воздуха через ноль.

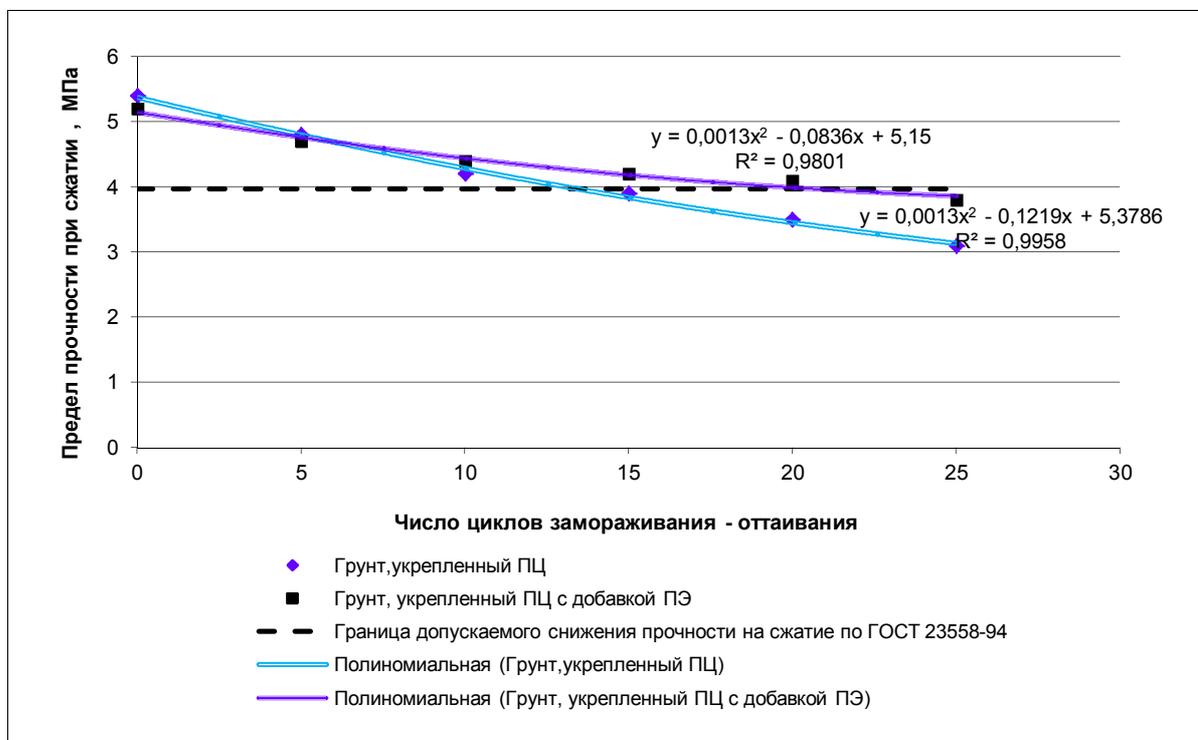


Рис. 3. Изменение прочности при сжатии цементогрунтовых образцов в зависимости от числа циклов замораживания – оттаивания

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие **выводы**:

1) добавка полиэлектролита способствует существенному увеличению прочности цементогрунта, что может обеспечить надежность конструкции дорожной одежды в агрессивных природно-климатических условиях и при повышенных транспортно-эксплуатационных нагрузках;

2) введение полиэлектролита приводит к значительному снижению водонасыщения цементогрунта. Данный показатель является важным для долговременной, стабильной работы дорожной одежды при постоянной повышенной влажности рабочего слоя земляного полотна, обильных осадках и других характерных условиях изменяющегося климата;

3) грунты, укрепленные портландцементом с добавкой полиэлектролита, обладают повышенной морозостойкостью, что может обеспечить надежность конструкции дорожных одежд, учитывая одну из важных тенденций изменяющегося климата: увеличение числа суток с попеременным переходом температуры воздуха через ноль;

4) введение полиэлектролита способствует снижению потребности в цементе при получении дорожно-строительного материала с заданными физико-механическими показателями;

5) укрепление грунтов портландцементом с добавкой полиэлектролита позволяет значительно превосходить требуемые нормы физико-механических показателей и мо-

жет обеспечить надежность и долговечность лесовозных дорог в условиях изменения климата, что делает данную технологию одной из перспективных для ведения интенсивного лесного хозяйства и организации экономического лесопользования, направленного на охрану природы в сложившихся условиях.

Список литературы

1. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (РОСГИДРОМЕТ). – М.: «ВНИИГМИ-МЦД», 2008. – 29 с.
2. Карпачевский, М. Л. Основы устойчивого лесопользования: учеб. пособие для вузов / М. Л. Карпачевский, В. К. Тепляков, Т. О. Яницкая, А. Ю. Ярошенко; Всемирный фонд дикой природы (WWF). – М., 2009. – 143 с.
3. Безрук, В. М. Укрепленные грунты. (Свойства и применение в дорожном и аэродромном строительстве) / В. М. Безрук, И. Л. Гурячков, Т. М. Луканина, Р. А. Агапова. – М.: Транспорт, 1982. – 231 с.

Статья поступила в редакцию 17.06.10.

S. A. Chudinov

ADAPTATION TECHNOLOGIES IN FOREST ROADS BUILDING IN THE CHANGING CLIMATE CONDITIONS

Heavy weather conditions, provoked by climate change, restrict the use of traditional road construction materials. The possibility of forest roads construction from the improved soil with Portland cement and polyelectrolyte additive use is presented. Results and analysis of the studies of physical and mechanical properties of the improved soil in harsh climatic influence are presented.

Key words: *adaptation technologies, forest roads, soil cement, improved soil, polyelectrolyte.*

ЧУДИНОВ Сергей Александрович – аспирант кафедры транспорта и дорожного строительства Уральского государственного лесотехнического университета. Область научных интересов – укрепление грунтов с использованием полимерных добавок. Автор десяти публикаций.

E-mail: serg-chudinov@yandex.ru

УДК 625.072:531.8

Е. В. Вайнштейн, М. Г. Салихов

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО НАГРЕВАНИЯ НА ПРОЦЕССЫ СТАРЕНИЯ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА С ДОБАВКАМИ ОТСЕВОВ ДРОБЛЕНИЯ МАЛОПРОЧНЫХ ИЗВЕСТНЯКОВ

Приведены результаты теоретического и экспериментального исследования физико-механических свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона с добавками отсевов дробления малопрочных известняков при длительном нагревании на процессы старения смеси.

Ключевые слова: *щебеночно-мастичный асфальтобетон, отсевы дробления известняков, расход битума, средняя плотность, водонасыщение, предел прочности на сжатие, теплостойкость.*

Введение. Одной из причин преждевременного разрушения асфальтобетонных покрытий принято считать старение асфальтобетона, проявляющееся в необратимых изменениях свойств вяжущего при высоких температурах приготовления смеси и в процессе длительного периода эксплуатации покрытия. Под старением подразумевается комплекс химических и физических превращений в структуре материала, приводящих к ухудшению механических свойств и снижению работоспособности асфальтобетонных покрытий. К химической стойкости относится способность асфальтобетона сохранять постоянный групповой состав вяжущего материала. Химическая стойкость отражает способность асфальтобетона и, в частности, его вяжущей части сопротивляться процессам старения. Процессы старения – это изменение группового состава битума, которые возникают под влиянием окисления, нагревания и испарения легких фракций. Старение вяжущего материала снижает эксплуатационные качества асфальтобетонного покрытия, делая его более хрупким, а поэтому менее стойким к ударным нагрузкам и пониженным температурам окружающего воздуха. Старение асфальтобетона и его вяжущего компонента проверяется методами тепловой обработки или длительного прогрева, испытанием образцов на погодоустойчивость в натуральных и искусственных условиях [1].

В тонких пленках при высокой температуре процессы старения протекают настолько интенсивно, что практически через каждый час битум переходит в другую марку с более высокой вязкостью. В итоге асфальтобетон в покрытии содержит битум с меньшей глубиной проникания иглы, чем было принято при подборе его состава. Это обстоятельство – одна из главных причин существенного сокращения срока службы асфальтобетонных покрытий.

Повышение температуры и увеличение времени выдерживания смеси при этой температуре ускоряют старение битумов. Независимо от состава смеси и качества процессы старения битума в пленках резко интенсифицируются при температуре 160°C и выше. Системное изучение процессов старения битумов началось примерно 100 лет назад [1].

Асфальтобетоны, склонные к хрупкому разрушению по мере его старения, подвержены усиленной коррозии. Таким образом, изучение свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона с добавками отсевов дробления известняков (ЩМА с ОДИ), склонных к хрупкому разрушению по мере его старения под действием нагрузки от лесовозных автопоездов, является актуальной проблемой.

Цель работы – установление долговечности ЩМА-покрытия с ОДИ через изучение старения стандартных лабораторных образцов и обоснование возможности использования ЩМА из местных материалов – ОДИ в покрытиях лесовозных дорог

Техника эксперимента. Были выполнены исследования по определению физико-механических свойств образцов из ЩМА с содержанием в смеси 7,0 % битума в зависимости от времени прогрева смеси. Исследование проводилось путем изготовления стандартных цилиндрических образцов [2, 3]. Температура нагрева асфальтобетонной смеси была постоянной и составляла 163 °С. Время нагрева смеси составляло: для пробы № 1 – 1 час; пробы № 2 – 3 часа; пробы № 3 – 6 часов. По изменению массы битума после прогрева и других показателей свойств, предусмотренных в технических требованиях, определяют склонность вяжущего к старению.

Результаты испытания приведены в табл. 1, 2. Графики трех проб физико-механических свойств смесей ЩМА приведены на рис. 1–5.

Т а б л и ц а 1

Результаты испытания ЩМА

| Время нагревания смеси, час | Битум, % | Масса образца до водонасыщения, г | | | Масса образца после водонасыщения, г |
|--|----------|-----------------------------------|---|--------|--------------------------------------|
| | | сухого на воздухе | на воздухе после 30 мин выдерживания в воде | в воде | на воздухе |
| Состав: Щ – 72,7 % + ОДИ – 27,3 % + МП – 0 % + Viator-66 – 0 % + Битум – 7 % | | | | | |
| 1 | 7,0 | 680,2 | 681,0 | 410,8 | 684,1 |
| 3 | 7,0 | 676,6 | 681,1 | 410,3 | 684,5 |
| 6 | 7,0 | 678,7 | 683,1 | 411,6 | 689,4 |

Т а б л и ц а 2

Физико-механические показатели ЩМА

| Битум, % | Плотность, г/см ³ | Водонасыщение, % | Предел прочности при сжатии, МПа | | | Коэфф. водостойкости Кв | Коэф.теплост. К _т |
|--|------------------------------|------------------|----------------------------------|----------------------|------|-------------------------|------------------------------|
| | | | +20°С | +20°С _{вод} | 50°С | | |
| Состав: Щ – 72,7 % + ОДИ – 27,3 % + МП – 0 % + Viator-66 – 0 % + Битум – 7 % | | | | | | | |
| 7,0 | 2,52 | 1,47 | 4,33 | 3,85 | 1,53 | 0,89 | 0,35 |
| 7,0 | 2,50 | 2,90 | 3,90 | 3,50 | 1,10 | 0,90 | 0,28 |
| 7,0 | 2,50 | 3,91 | 3,60 | 3,20 | 1,0 | 0,89 | 0,27 |

График зависимости средней плотности ЩМА с ОДИ от времени прогрева приведен на рис. 1.

Анализ результатов исследований, приведенных на рис. 1, показывает, что средняя плотность образцов из ЩМА с ОДИ от времени прогрева смеси уменьшается на 0,8 %.

График зависимости водонасыщения ЩМА с ОДИ от времени прогрева приведен на рис. 2.

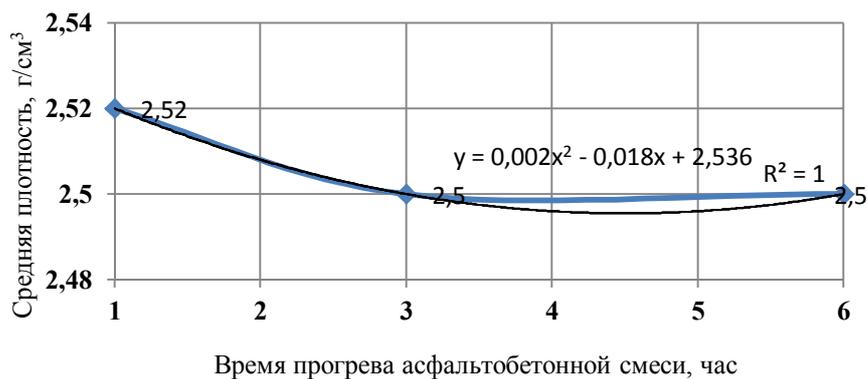


Рис. 1. График зависимости плотности ЦМА от времени прогрева смеси

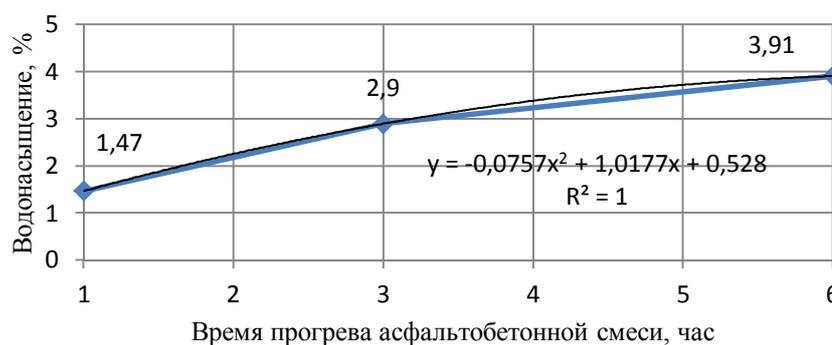


Рис. 2. График зависимости водонасыщения ЦМА от времени прогрева смеси

Анализ результатов исследований, приведенных на рис. 2, показывает, что водонасыщение образцов из ЦМА с ОДИ от времени прогрева смеси увеличивается на 265 %.

График зависимости предела прочности на сжатие образцов из ЦМА с ОДИ при температуре $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ от времени прогрева представлен на рис. 3.

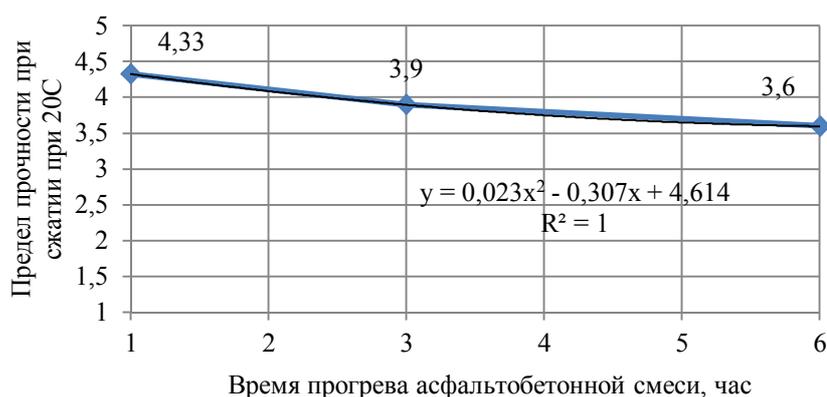


Рис. 3. График зависимости предела прочности при сжатии образцов ЦМА от времени прогрева смеси

Анализ результатов исследований, приведенных на рис. 3, показывает, что предел прочности на сжатие образцов из ЦМА с ОДИ при температуре $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ от времени прогрева смеси уменьшается на 120 %.

График зависимости предела прочности на сжатие образцов из ЦМА с ОДИ при температуре $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ от времени прогрева представлен на рис. 4.

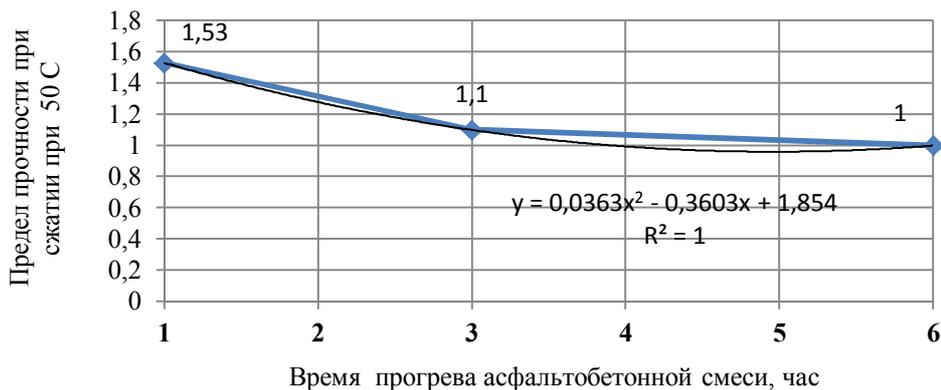


Рис. 4. График зависимости предела прочности при сжатии образцов при 50 °C от времени прогрева смеси

Анализ результатов исследований, приведенных на рис. 4, показывает, что предел прочности на сжатие образцов из ЩМА с ОДИ при температуре $t = 50\text{ °C}$ от времени прогрева смеси уменьшается на 153 %.

График зависимости коэффициента теплостойкости образцов из ЩМА с ОДИ от времени прогрева смеси представлен на рис. 5.

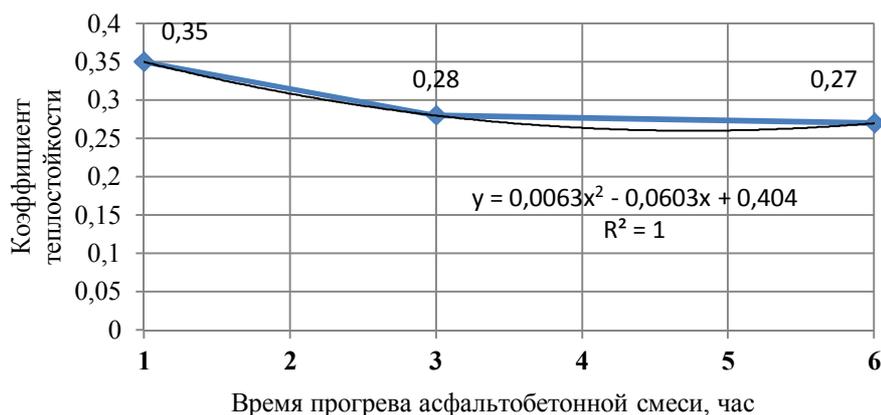


Рис. 5. График зависимости коэффициента теплостойкости от времени прогрева смеси

Анализ результатов исследований, приведенных на рис. 5, показывает, что коэффициент теплостойкости образцов из ЩМА с ОДИ от времени прогрева смеси уменьшается на 130 %.

Для оценки процессов старения ЩМА в процессе нагревания смеси устанавливаются значения коэффициента теплостойкости (K_T), который определяется по формуле:

$$K_T = \frac{R_{сж}^{50\text{ °C}}}{R_{сж}^{20\text{ °C}}}; \quad (1)$$

где $R_{сж}^{50\text{ °C}}$ – предел прочности на сжатие при $t = 50\text{ °C}$;

$R_{сж}^{20\text{ °C}}$ – предел прочности на сжатие при $t = 20\text{ °C}$.

На основании графика, приведенного на рис. 5, зависимость изменения коэффициента теплостойкости от времени прогрева смеси представлена формулой:

$$K_T = 0,0063t^2 - 0,0603t + 0,404 \quad (2)$$

где K_T – коэффициент теплостойкости; t – время прогрева смеси.

Выводы.

Наиболее важным проявлением старения ЩМА с ОДИ является снижение средней плотности, водонасыщения, прочности на сжатие образцов при температурах $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и коэффициента теплостойкости покрытия. Этим объясняется тот факт, что покрытие, сделанное из ЩМА и приготовленное с нарушением температурного режима, быстрее снижает эксплуатационные качества асфальтобетонного покрытия.

Свойства проб №2 и №3, прогретых при температуре $163\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 3 и 6 часов, изменяются в сторону уменьшения прочности при сжатии при температуре $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ на 16 %, при $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ – на 34 %, водонасыщение увеличилось в 2,7 раза. Однако данные показатели при неблагоприятных условиях производства удовлетворяют требованиям ГОСТ 31015-2002 [2].

Список литературы

1. *Гезенцевей, Л. Б.* Дорожный асфальтобетон / Л. Б. Гезенцевей, Н. В. Горельшев, А. М. Богуславский, И. В. Королев. Под ред. Л. Б. Гезенцевей. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1985. –106 с.
2. ГОСТ 31015-2002. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия. Принят Межгосударственной НТК по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве (МНТКС) 17.10.2002 г. Введен впервые с 01.03.2003 г. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. – 24 с.
3. ГОСТ 12801-98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний. Введен в действие Постановлением Госстроя России от 24.11.1998 г., №16 с 01.01.1998 г. (взамен ГОСТ 12801-84). – М.: ГУП ЦПП, 1999. – 39 с.

Статья поступила в редакцию 10.04.10.

E. V. Vainshtein, M. G. Salikhov

LONG HEATING INFLUENCE TO THE AGEING PROCESSES AND PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF RUBBLE AND MASTIC ASPHALT CONCRETE WITH SCREENINGS OF SOLID LIMESTONE BREAKING UP

Theoretic and experimental research results of physical and mechanical properties of rubble and mastic asphalt concrete with screenings of solid limestone breaking up when a long heating to the processes mixtures ageing are presented.

Key words: rubble and mastic asphalt concrete, screenings of limestone breaking up, bitumen consumption, mean density, water saturation, ultimate compression strength, heat resisting.

ВАЙНШТЕЙН Евгений Викторович – аспирант кафедры автомобильных дорог МарГТУ. Область научных интересов – регулирование свойств органических бетонов с учетом физико-химических процессов на разделах фаз и расширение применения местных материалов в дорожном строительстве. Автор десяти публикаций.

E-mail: j_slayer@mail.ru

САЛИХОВ Мухаммет Габдулхаевич – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой автомобильных дорог МарГТУ. Область научных интересов – развитие научных основ и регулирование структурообразования и комплекса эксплуатационных свойств дорожно-строительных материалов с учетом физико-химических процессов на разделах фаз с обработкой технологий их производства и укладки в дорожные объекты. Автор 160 публикаций.

E-mail: Salichov@mail.ru

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

УДК 624.131.4

Н. К. Краева, О. В. Малюта, А. Р. Григорьева

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОЙ ТОКСИЧНОСТИ НЕТРАДИЦИОННЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ И СПОСОБЫ ЕЕ СНИЖЕНИЯ

Определена степень токсичности нетрадиционных органических удобрений и предложен способ ее снижения. Использование некоторых органических отходов пищевой промышленности в качестве добавок при создании нетрадиционных органических удобрений позволяет снизить содержание подвижных форм тяжелых металлов, токсичность и изменить класс опасности новых почвенных мелиорантов.

Ключевые слова: нетрадиционные органические удобрения (НОУ), тяжелые металлы, добавки, токсичность.

Введение. Одной из экологических проблем на сегодняшний день является утилизация отходов, в частности такого многотоннажного отхода, как осадки сточных вод (ОСВ).

Исследователи, занимающиеся проблемой утилизации данного вида отходов и созданием на его основе нетрадиционных видов удобрений, выделяют ряд проблем, например, высокий класс опасности из-за содержания тяжелых металлов (ТМ) в концентрациях, превышающих ПДК и, как следствие, ограниченное использование таких удобрений в сельском хозяйстве [1]. Тяжелые металлы практически не подвергаются биологическому разложению, поэтому при компостировании органических отходов эти металлы аккумулируются в компостах. Подвижные формы ТМ, нарушая регуляцию клеточных механизмов, накапливаются в растениях в количествах, влияющих на рост и развитие агрокультур. В связи с этим важнейшим показателем агроэкологической оценки загрязнения почв тяжёлыми металлами является подвижность тяжёлых металлов в почве.

На подвижность ТМ в почве влияет множество факторов, главными среди которых являются почвенные факторы (кислотность, ёмкость катионного обмена, степень насыщенности основаниями, содержание органического вещества и его фракционный состав и др.) [2]. Гумусовые вещества, обладая высокой емкостью поглощения, снижают подвижность в почве некоторых металлов (алюминий, кобальт, свинец), но в ряде случаев полной фиксации тяжелых металлов не происходит. Поэтому фиксация тяжелых металлов в компостах из осадков сточных вод, перевод тяжелых металлов в недоступную для растений форму и, в итоге, снижение класса опасности данного вида отходов – достаточно актуальная проблема.

Цель работы – определить степень возможной токсичности новых почвенных мелиорантов и разработать способ ее снижения.

Для достижения поставленной цели были определены следующие **задачи**:

– оценить степень токсичности и определить класс опасности нетрадиционных органических удобрений на основе ОСВ;

– выявить виды сорбентов тяжелых металлов для использования в качестве добавок при создании НОУ и оценить степень их возможной токсичности;

– оценить степень токсичности и определить класс опасности нетрадиционных удобрений на основе ОСВ с использованием органических добавок.

Методики эксперимента. Работа проводилась в лаборатории «Биотестирования отходов и объектов окружающей среды» с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Экология, биотехнологии и процессы получения экологически чистых энергоносителей» (ЦКП ЭБЭЭ) Марийского государственного технического университета.

Определение токсичности и класса опасности органических отходов проводилось согласно методикам определения токсичности водных вытяжек из осадков сточных вод по смертности с использованием дафний (*Daphnia magna* Straus), люминесцентных бактерий «Эколюм» и культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer).

Методика биотестирования с использованием дафний основана на определении смертности рачков при воздействии токсических веществ, присутствующих в исследуемой водной среде, по сравнению с контрольной культурой в пробах, не содержащих токсических веществ (контроль).

Острое токсическое действие исследуемой воды или водной вытяжки на дафний определяется по их смертности (летальности) за определенный период экспозиции. Критерием острой токсичности служит гибель 50% и более дафний за 48 часов в исследуемой пробе при условии, что в контрольном эксперименте все рачки сохраняют свою жизнеспособность.

В экспериментах по определению острого токсического действия устанавливают:

- среднюю летальную концентрацию отдельных веществ (кратность разбавления вод или водной вытяжки из почв, осадков сточных вод и отходов, содержащих смеси веществ), вызывающую гибель 50% и более тест-организмов (ЛКР₅₀₋₄₈);

- безвредную кратность разбавления вод, водных вытяжек, вызывающую гибель не более 10 % тест-объектов за 48-часовую экспозицию (БКР₁₀₋₄₈) [3].

Экспресс-метод оценки токсичности с использованием люминесцентных микроорганизмов основан на том, что тест-объект (люминесцентные бактерии) при действии токсических соединений изменяет свои физиолого-биохимические функции, в данном случае активность фермента бактериальной люциферазы, ответственного за интенсивность биолюминесценции, и реагирует на действие различных химических и биологических факторов аналогично высшим животным. Оценка токсичности (Т) основана на определении величины изменения интенсивности биолюминесценции бактерий при действии токсических соединений, содержащихся в тестируемой пробе, по сравнению с контролем [4].

Для определения острой токсичности отходов использовалась и тест-культура зеленой протококковой водоросли хлорелла. Измерение оптической плотности суспензии водоросли позволяет оперативно контролировать изменение численности клеток в контрольном и опытном вариантах острого токсикологического эксперимента, проводимого в специализированном многоцветном культиваторе. Критерием токсичности воды является снижение на 20% и более (подавление роста) или увеличение на 30% и более (стимуляция роста) величины оптической плотности

культуры водоросли, выращиваемой в течение 22 часов на тестируемой воде по сравнению с ее ростом на контрольной среде, приготовленной на дистиллированной воде (ТКР_(+20/30-22)) [5].

Химические исследования (атомно-адсорбционный метод) проводились согласно стандарту ИСО 11466 и ИСО 11047 на атомно-абсорбционном спектрометре «АAnalit-400» [6, 7].

Математическая обработка данных проводилась методами дисперсионного анализа.

Результаты. В ходе литературного поиска были выявлены вещества с высокими сорбционными свойствами – крахмал, пектин, лигнин, хитин, целлюлоза и виды органических отходов, которые содержат в себе данные вещества в большом количестве, поэтому теоретически могут быть использованы в качестве добавок при создании нетрадиционных удобрений на основе ОСВ для снижения их токсичности. По природе сорбирующего компонента отходы можно разделить на три группы [8–11]:

- хитинсодержащие: грибные отходы, подмор пчел, отработанный грибной субстрат;
- пектинсодержащие: плодоовощные отходы, жмых;
- лигнинсодержащие: гидролизный лигнин.

Данные виды отходов, так же как и компосты на основе ОСВ, подверглись биотестированию для определения класса опасности.

Результаты исследований компоста (ОСВ + хвойно-лиственный опил), отобранного на разных стадиях компостирования, свидетельствуют, что компост, не прошедший термофильную стадию, является более токсичным: оба тест-организма показывают IV класс опасности. Токсичность компоста после термофильной стадии снижается: один из тест-организмов (дафнии) показал V класс опасности, другой (водоросли) – IV класс опасности (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Определение класса опасности компоста методами биотестирования с использованием дафний и бактерий

| Вариант опыта | Показатели токсичности в тесте с дафниями | | | Показатели токсичности в тесте с водорослями | | Класс опасности отхода |
|---------------------------------------|---|------------------------|-----------------|--|-----------------|------------------------|
| | ЛКР ₍₅₀₋₄₈₎ | БКР ₍₅₀₋₄₈₎ | Класс опасности | ТКР _(+20/30-22) | Класс опасности | |
| Компост 1 (до термофильной стадии) | 4,68 | 10,8 | IV | 8,95 | IV | IV |
| Компост 2 (после термофильной стадии) | – | 1,0 | V | 8,13 | IV | IV |

Но так как за окончательный результат принимается класс опасности, выявленный на тест-объекте, проявившем более высокую чувствительность к анализируемому отходу, то токсичность обоих компостов соответствует IV классу опасности.

В результате биотестирования на дафниях предполагаемых добавок к компосту было выявлено, что такие отходы, как грибной субстрат, плодоовощные отходы и отходы грибов практически не обладают токсичностью и относятся к V классу опасности (табл. 2). Гидролизный лигнин и жмых показали IV класс опасности, причем токсичность гидролизного лигнина связана с сильной кислотностью (а не наличием токсикантов), нейтрализация которой позволит изменить класс опасности. Что касается подмора пчел, то у него был определен III класс опасности, возможно, это связано с содержанием в подморе таких продуктов пчеловодства, как прополис и пчелиный яд, отрицательно влияющих на тест-организмы.

Результаты биотестирования на биолюминесцентных бактериях показали практически аналогичную токсичность. В сравнении с другими исследуемыми отходами наибольшую токсичность имеет подмор пчел.

Таким образом, для дальнейшего использования в качестве органической добавки к компосту на основе ОСВ оказались наиболее пригодными: отработанный грибной субстрат, грибные и плодоовощные отходы. Однако оптимальными с точки зрения токсикологических параметров и доступности являются плодоовощные отходы и отработанный грибной субстрат.

Т а б л и ц а 2

Определение класса опасности отходов методами биотестирования с использованием дафний и бактерий

| Вариант опыта | Показатели токсичности в тесте с дафниями | | | Показатели токсичности в тесте с бактериями | | Класс опасности отхода |
|---------------------|---|------------------------|-----------------|---|-----------------|------------------------|
| | ЛКР ₍₅₀₋₄₈₎ | БКР ₍₁₀₋₄₈₎ | Класс опасности | Т - индекс токсичности | Класс опасности | |
| Подмор пчел | 28,4 | 158,2 | III | 96,27 | III | III |
| Гидролизный лигнин | 1,8 | 7,5 | IV | 23,35 | IV | IV |
| Грибной субстрат | – | 1,0 | V | 5,82 | V | V |
| Плодоовощные отходы | – | 1,0 | V | 0 | V | V |
| Грибы | – | 1,0 | V | 0 | V | V |
| Жмых | 1,1 | 4,7 | IV | 45,38 | IV | IV |

Отобранные сорбенты в различных концентрациях вносились в компост из осадков сточных вод и хвойно-лиственного опила (не достигшего термофильной стадии). Таким образом, в эксперименте исследовались следующие варианты:

- 1) компост (ОСВ + хвойно-лиственный опил) без добавок (контроль);
- 2) компост (ОСВ + хвойно-лиственный опил) + отработанный грибной субстрат;
- 3) компост (ОСВ + хвойно-лиственный опил) + плодоовощные отходы.

Композиции смешивали в следующих соотношениях 97,5:2,5; 95:5; 92,5:7,5; 90:10; 87,5:12,5; 85:15; 80:20, в процентном содержании по массе сухого вещества, тщательно перемешивали и закладывали в полипропеленовые мешки. Мешки помещались в вертикальном положении в деревянные ящики на открытом воздухе в Учебно-опытном лесхозе МарГТУ. Продолжительность экспозиции шесть месяцев. В период проведения экспериментов поддерживалась постоянная влажность не менее 70%. Эксперимент закладывался в трех повторностях. После полугодовой выдержки полученные компосты подвергли химическому анализу (табл.3) с целью оценить эффективность сорбентов и биотестированию для определения возможного снижения степени токсичности компоста на основе ОСВ после внесения органических добавок (табл.4).

Результаты атомно-спектрометрического анализа показали существенное снижение содержания подвижных форм ТМ в компосте при внесении отработанного грибного субстрата по сравнению с контролем. Оптимальная доза внесения данной добавки в нетрадиционное органическое удобрение составляет 12,5 %. При внесении плодоовощных отходов в качестве добавки также снижается подвижность тяжелых металлов по сравнению с контролем. Оптимальная доза внесения варьирует от 10 до 12,5 %.

Таким образом, органические отходы пищевой промышленности – плодоовощные и грибной субстрат – обладают высокими сорбционными свойствами и существенно снижают содержание подвижных форм тяжелых металлов в компосте.

Результаты биотестирования свидетельствуют о снижении класса опасности в варианте 2 – НОУ + грибной субстрат: все тест-организмы показали пятый класс

опасности, т.е. практически отсутствие токсичности. В варианте 3 – НОУ + плодовоощные отходы наличие токсичности показали только водоросли, тесты на дафниях и бактериях указывали на пятый класс опасности. При биотестировании НОУ без добавок все тест-организмы индицировали четвертый класс опасности.

Т а б л и ц а 3

Содержание подвижных форм тяжелых металлов в нетрадиционном органическом удобрении при использовании органических добавок

| Концентрация внесения, % | Отработанный грибной субстрат | | | | | Плодовоощные отходы | | | | |
|--------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | Pb | Cu | Zn | Cd | Ni | Pb | Cu | Zn | Cd | Ni |
| 2,5 | 7,16 | 16,99 | 37,89 | 1,62 | 8,57 | 7,16 | 15,79 | 34,58 | 1,60 | 7,89 |
| 5 | 7,16 | 16,90 | 36,99 | 1,62 | 8,01 | 7,06 | 14,00 | 34,46 | 1,55 | 7,59 |
| 7,5 | 7,11 | 16,86 | 34,88 | 1,62 | 7,69 | 7,06 | 12,78 | 33,90 | 1,55 | 6,99 |
| 10 | 7,11 | 16,75 | 33,71 | 1,62 | 7,18 | 7,00 | 10,19 | 33,65 | 1,47 | 6,55 |
| 12,5 | 6,76 | 16,33 | 33,98 | 1,60 | 7,14 | 4,74 | 6,75 | 29,15 | 1,15 | 6,80 |
| 15 | 6,43 | 5,91 | 27,89 | 1,43 | 4,49 | 4,30 | 6,35 | 28,14 | 1,15 | 6,30 |
| без добавок | 7,17 | 16,99 | 38,49 | 1,62 | 8,78 | 7,17 | 16,99 | 38,49 | 1,62 | 8,78 |
| <i>HCP₀₅</i> | <i>0,038</i> | <i>0,055</i> | <i>0,106</i> | <i>0,041</i> | <i>0,052</i> | <i>0,091</i> | <i>0,113</i> | <i>0,025</i> | <i>0,038</i> | <i>0,033</i> |

Т а б л и ц а 4

Определение класса опасности отходов методами биотестирования с использованием дафний, бактерий и водорослей

| Вариант опыта | Показатели токсичности в тесте с дафниями | | | Показатели токсичности в тесте с бактериями | | Показатели токсичности в тесте с водорослями | | Класс опасности отхода |
|---------------|---|------------------------|--------------|---|--------------|--|--------------|------------------------|
| | ЛКР ₍₅₀₋₄₈₎ | БКР ₍₁₀₋₄₈₎ | Класс опасн. | Т-индекс токсичн. | Класс опасн. | ТКР _(+20/30-22) | Класс опасн. | |
| 1 | 4,68 | 10,8 | IV | 23,1 | IV | 8,95 | IV | IV |
| 2 | – | 1,0 | V | 1,56 | V | 1 | V | V |
| 3 | – | 1,0 | V | 15,13 | V | 6,2 | IV | IV |

Очевидно, что привнесение органических отходов, обладающих хорошими сорбирующими свойствами, в качестве добавок при создании нетрадиционных мелиорантов позволяет снизить токсичность НОУ.

Выводы.

1. Нетрадиционные органические удобрения на основе ОСВ обладают токсичностью и относятся к четвертому классу опасности отходов.

2. Органические отходы пищевой промышленности – плодовоощные и грибной субстрат обладают высокими сорбционными свойствами и практически не токсичны.

3. Применение органических отходов плодовоощных и грибного субстрата в качестве добавок при создании нетрадиционных органических удобрений снижает миграцию тяжелых металлов, токсичность и класс опасности новых почвенных мелиорантов.

4. Использование данных сорбентов при производстве нетрадиционных органических удобрений можно считать целесообразным.

Список литературы

1. Шибалева, М. Е. Регулирование содержания тяжелых металлов в растениях с помощью инокулированных компостов / М. Е. Шибалева, И. А. Архипченко // Экология и промышленность России. – 2006. – №8. – С. 33–35.

2. *Александрова, Э. А.* Тяжёлые металлы в почвах и растениях и их аналитический контроль / Э. А. Александрова, Н. Г. Гайдукова, Н. А. Кошеленко, З. Н. Ткаченко. – Краснодар: КГАУ, 2001. – С. 6–11.
3. ПНД Ф Т 14.1:2:4.12-06 (ПНД Ф Т 16.1:2:3:3.9-06) Методика определения токсичности водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов, питьевой, сточной и природной воды по смертности тест-объекта *Daphnia magna Straus*. Красноярский государственный университет.
4. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04 (ПНД Ф Т 16.1:2:3:3.8-04) Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению интенсивности бактериальной биолюминесценции тест-системой «Эколюм» на приборе «Биотокс-10». ООО НЦ «Экологическая перспектива».
5. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04 (ПНД Ф Т 16.1:2:3:3.7-04) Методика определения токсичности проб поверхностных пресных, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer). Красноярский государственный университет.
6. BS 7755-3.9:1995, ISO 11466:1995 Soil quality. Chemical methods. Extraction of trace elements soluble in aqua regia.
7. BS 7755-3.13:1998, ISO 11047:1998 Soil quality. Chemical methods. Determination of cadmium, chromium, cobalt, copper, lead, manganese, nickel and zinc in aqua regia extracts of soil. Flame and electrothermal atomic absorption spectrometric methods.
8. *Гайдукова, Н. Г.* О влиянии гумуса и железа на состояние тяжёлых металлов в чернозёме выщелоченном Западного Предкавказья / Н. Г. Гайдукова, И. А. Лебедевский // Наука Кубани. – 2005. – №3. – С. 34–37.
9. Механизмы сорбции ионов металлов грибами хитинсодержащими комплексами / Л. Ф. Горовой, А. П. Петюшенко // Новые перспективы в использовании хитина и хитозана: Материалы пятой конференции, Москва – Щелково. – М.: Изд-во ВНИРО, 1999. – С. 134–136.
10. *Рогов, И. А.* Использование сырья с высоким содержанием пищевых волокон в технологии диетических мясных продуктов / И. А. Рогов, Э. С. Токарев, Ю. И. Ковалев, Е. А. Клочкова. – М.: АгроНИИТЭИММП, 1988. – 44 с.
11. *Красноселова, Е. А.* Разработка технологии комплексной переработки яблок летних и осенних сортов с получением пектина и пектинопродуктов функционального назначения: Автореф. дис... канд. техн. н. – Краснодар, 2007.

Статья поступила в редакцию 18.05.10.

N. K. Kraeva, O. V. Maluta, A. R. Grigoreva

NONCONVENTIONAL ORGANIC FERTILIZERS POSSIBLE TOXICITY ESTIMATION AND THE WAYS OF ITS DECREASE

Nonconventional organic fertilizers (NOF) toxicity degree is defined and the way of its decrease is offered. Use of some organic wastes of the food-processing industry as an additive at the NOF creation allows to lower heavy metals mobile forms content and toxicity and to change a danger class of new edaphic ameliorants.

Key words: *nonconventional organic fertilizers (NOF), heavy metals, additives, toxicity.*

КРАЕВА Наталья Константиновна – аспирант кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ МарГТУ. Область научных интересов – утилизация органических отходов. Автор 12 публикаций.

E-mail: natalya.kraeva@mail.ru

МАЛЮТА Ольга Васильевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии, почвоведения и природопользования МарГТУ. Область научных интересов – биотестирование и биоиндикация объектов окружающей среды. Автор 45 публикаций.

E-mail: MalutaOV@marstu.net

ГРИГОРЬЕВА Алена Рудиковна – магистр кафедры экологии, почвоведения и природопользования МарГТУ. Область научных интересов – биотестирование и биоиндикация объектов окружающей среды. Автор двух публикаций.

E-mail: GrigorevaAR@marstu.net

УДК 674.031.681.81:57.086.833.4

Р. В. Сергеев, А. И. Шургин

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО И ГОРМОНАЛЬНОГО СОСТАВА СРЕДЫ НА РАЗМНОЖЕНИЕ *IN VITRO* ГЕНОТИПОВ ИВЫ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Разработана технология микроклонального размножения высокопродуктивных по салицину генотипов ивы с целью создания промышленных плантаций. Содержание общего салицина в экстракте коры отобранных генотипов составляло $7,4 \pm 0,2$ %. В ходе исследования было изучено влияние сред DKW, GD, WPM, MS на морфогенез растений *Salix* в культуре *in vitro*. Экспериментально установлено, что кинетин является более эффективным при микроклональном размножении *Salix acutifolia* Willd. чем 2iP и BAP.

Ключевые слова: *Salix*, микроразмножение, *in vitro*, 6-бензиламинопурин (BAP), 2-изопентениладенин (2iP), кинетин (Kn), α -нафтилуксусная кислота (NAA).

Введение. В последние десятилетия интерес к лекарственным средствам растительного происхождения увеличивается, что объясняется ростом аллергических реакций на прием лекарственных препаратов с искусственно созданной структурой. В связи с увеличением спроса на лекарственные препараты биологического происхождения возникает необходимость создания промышленных плантаций высокопродуктивных растений. Большинство видов ивы (*Salicaceae*, *Salix*) содержат в листьях, коре или почках производные салицилового спирта, салицилаты. Лекарственные препараты, получаемые из растений *Salix*, содержат салицин (2-гидроксиметил-фенил- β -D-глюкопиранозид) и его производные: фрагилин, саликортин, 2'-о-ацетилсаликортин, тремулацин, салирепозид и др. [1]. Салицилаты используются сотни лет в качестве обезболивающих, противовоспалительных и жаропонижающих средств. Интерес к натуральным препаратам из ивы как альтернативе аспирина, синтетического аналога, повышается, потому что салицилаты ивы не обладают побочным эффектом (раздражение и повреждение желудка), характерным для аспирина [2]. Но большинство из источников ивы, в настоящее время доступных для получения лекарственных препаратов, содержат менее 1 % активных компонентов. Поэтому представляют большой интерес исследования, селекция и культивирование видов ивы с повышенным содержанием салицилатов [3].

В связи с этим возникает необходимость разведения ивы с целью получения салицилатов путем создания промышленных плантаций интенсивного типа с короткой ротацией один год при использовании в качестве посадочного материала высокопродуктивных (по выходу салицилатов) сортов-клонов, обладающих устойчивостью к неблагоприятным факторам среды, болезням и вредителям.

В сравнении с работами по другим видам древесных растений, по микроклональному размножению растений рода *Salix* опубликованных исследований немного. Л. Бергманом изучено влияние BAP на микроразмножение клонов *Salix*, а также разра-

ботана технология микроклонального размножения для некоторых видов альпийских ив (*S. caprea* L.), в том числе для гибридов *S. caprea* × *S. viminalis* L. (= *S.* × *smithiana*) [4]. Ряд авторов указывает на сложности, возникающие при микрочеренковании и укоренении растений *Salix*, что связано, по их мнению, с влиянием генотипа [5, 6]. Однако для некоторых видов и клонов ив разработаны высокоэффективные методы микроразмножения [7].

Целью данного исследования являлась разработка этапов микроклонального размножения *S. acutifolia* как источника ценных биологически активных веществ (БАВ). В **задачи** работы входила оценка влияния факторов минерального и гормонального состава питательных сред на стадиях пролиферации и укоренения побегов *Salix*.

Объекты, материалы и методы. В качестве объекта исследований использовали растительный материал ивы, отобранный с деревьев модельных популяций (Нижегородская, Кировская области, Республика Марий Эл). Эксперименты проводились с использованием апикальных и пазушных почек *in vitro*. В культуру *in vitro* вводился материал с однолетних побегов полевых растений. Последующий анализ накопления БАВ осуществлялся на полученных растениях-регенерантах. Растительный материал был собран в начале февраля с отобранной ранее по содержанию салицина модельной популяции ивы (Нижегородская, Кировская области, Республика Марий Эл). Содержание общего салицина в экстракте из коры отобранного генотипа составляло $7,4 \pm 0,2$ %. В качестве первичных эксплантов были выбраны почки с однолетних побегов модельных деревьев. Введение *S. acutifolia* в культуру *in vitro* проводили путем стерилизации молодых пазушных и апикальных почек. Нарезанные черенки длиной 15–20 см, у которых предварительно были удалены листья, помещали в пластиковые пакеты. Число почек на каждом черенке варьировало от 8 до 14. Пакеты тщательно запечатывали во избежание потери влажности. До проведения опыта пакеты хранились в темноте при температуре + 4 °С. Отобранные побеги предварительно промывали мыльным раствором с щёткой и споласкивали дистиллированной водой. Черенки нарезали скальпелем на небольшие сегменты (5–10 мм) с почками, затем очищали от наружных почечных чешуй. После этого черенки замачивали в водном растворе моющего средства Fairy и помещали на магнитную мешалку на 15–20 минут. На следующем этапе сегменты растения промывали под проточной водой в течение 30–40 минут.

Все дальнейшие манипуляции с образцами проводили в ламинар-боксе. Далее эти сегменты помещали на 30–40 секунд в 70 % этанол, после чего переносили в стерилизующий раствор гипохлорита Na, в составе 10 % коммерческого отбеливателя Domestos, на 10 минут. После этого экспланты отмывали три раза в стерильной дистиллированной воде, удаляли концы, где клетки убиты, стерильным скальпелем и помещали на питательную среду MS (Murashige and Skoog's medium) [8]. Концентрация сахаразы в среде составляла 30 г/л, агар-агара 6 г/л.

В ходе исследования было изучено влияние 25 различных сочетаний концентраций бензиламинопурина (BAP 0,0;0,1;0,5;1,0;2,0 мг/л) и нафтилуксусной кислоты (NAA 0,0;0,01;0,05;0,1;0,2 мг/л) на рост и развитие эксплантов *S. acutifolia* (среда MS, сахараза 30 г/л, агар-агар 6 г/л). Культивирование проводили при 21 °С, освещенности 1800 Люкс, фотопериоде 16/8. Было заложено по 10 эксплантов на вариант, повторность трёхкратная. Исследование показало, что наиболее интенсивное формирование новых побегов у изучаемого генотипа ивы происходило на среде MS при добавлении 1,0 мг/л BAP в сочетании с NAA в концентрации 0,01 и 0,1 мг/л, а процесс образования корней на среде MS, дополненной 0,1 и 0,2 мг/л NAA в концентрации [9]. Стимулирующий эффект низких концентраций бензиладенина ($5 \cdot 10^{-7}$ М, 10^{-6} М) на удлинение побегов из пазушных почек был показан в работе L. Bergman [4], однако образования адвентивных

почек авторы не наблюдали. DC. Agrawal [7] при культивировании гибридной ивы (*S. fragilis* × *S. lisproclados*) на среде с добавлением 0,2 мг/л бензиладенина получили коэффициент размножения на уровне 5–8 после третьего субкультивирования.

Для изучения влияния минерального состава основных сред на морфогенез *S. acutifolia* в культуре *in vitro* были протестированы среды DKW [10], GD [11], MS [8], WPM [12]. В ходе проведённого исследования микрочеренки длиной 1,2–1,5 см по десять штук были высажены в культуральные сосуды с четырьмя исследуемыми средами. Каждая среда была дополнена 1,0 мг/л ВАР, 0,1 мг/л NAA и содержала 3 % сахарозы, агар-агар в концентрации 6 г/л. Повторность трёхкратная. Культивирование проводили при 21 °С, освещённости 1800 Люкс, фотопериоде 16/8. Статистический анализ проводили методами дисперсионного анализа.

Для изучения влияния цитокининов на морфогенетическую способность эксплантов *S. acutifolia* было проведено сравнение гомогенеза на средах, дополненных Кп, ВАР и 2iP. В качестве основной использовали MS-среду, содержащую 0,1 мг/л NAA, 3 % сахарозы и 0,6 % агар-агара. Сегменты побегов длиной 1,2–1,5 см помещали в культуральные сосуды по 21 экспланту на вариант, повторность трёхкратная.

Оценка влияния минерального состава среды на ризогенез эксплантов *S. acutifolia in vitro* проводилась на четырёх исследуемых средах DKW, GD, WPM, MS. В культуральные сосуды сажали по 10 эксплантов. Каждая среда содержала 3 % сахарозы, 0,6 % агар-агара и 0,2 мг/л NAA. В качестве контроля была выбрана среда MS, дополненная 0,2 мг/л NAA. Повторность трёхкратная. Культивирование проводили при 21 °С, освещённости 1800 Люкс, фотопериоде 16/8.

Результаты.

Стерилизация эксплантов. Предварительные исследования показали, что при использовании в качестве стерилизующего агента 0,5 % раствора гипохлорита Na (Domestos) в течение 10 минут достигается максимальное число стерильных морфогенных эксплантов *S. acutifolia* 94,44 %.

Микроразмножение.

Основная среда. В ходе эксперимента по изучению влияния минеральных солей на морфогенез *in vitro* эксплантов *S. acutifolia* было отмечено, что исследуемые варианты питательных сред имеют существенное отличие по своей регенерационной активности на гомогенез (табл. 1, рис. 1).

Т а б л и ц а 1

Влияние минеральных солей на количественное формирование побегов

| | ∑ квадратов SS | N степеней свободы df | Средний квадрат mS | F фактический | F табличный при уровне значимости | | |
|------|-------------------|-----------------------------|-----------------------|---------------|--------------------------------------|------|-------|
| | | | | | 0,05 | 0,01 | 0,001 |
| SS0= | 2,198 | 11 | | | | | |
| SS1= | 1,41 | 3 | 0,47 | 4,76 | 3,8 | 7 | 14,4 |
| SS2= | 0,79 | 8 | 0,098 | | | | |



Рис. 1. Морфогенез *S. acutifolia* на средах разного минерального состава

Наибольшее число образовавшихся побегов и почек на explant (2,9 и 2,8) наблюдалось на средах MS и DKW соответственно, в то же время на среде WPM этот показатель составил лишь два побега на explant. Таким образом, формирование новых почек происходило на среде MS на 43 % более эффективно, чем на WPM, а на средах DKW и GD на 39 и 19 % соответственно.

Проведенный эксперимент показал, что исследуемые среды существенно отличаются друг от друга по влиянию на рост побегов *S. acutifolia* в культуре *in vitro* (табл. 2). При оценке параметров роста explantов лучшие результаты наблюдали на среде MS, длина побегов на этом варианте была больше, чем на среде GD на 46 %. Среда DKW и WPM по данному показателю практически не отличались (меньше чем на WPM на 26,8 и 24,7 % соответственно). На среде GD происходило формирование укороченных побегов.

Т а б л и ц а 2

Влияние минеральных солей на рост побегов *S. Acutifolia*

| | ∑ квадратов SS | N степеней свободы df | Средний квадрат mS | F фактический | F табличный при уровне значимости | | |
|------|----------------|-----------------------|--------------------|---------------|-----------------------------------|------|-------|
| | | | | | 0,05 | 0,01 | 0,001 |
| SS0= | 185,98 | 11,00 | | | | | |
| SS1= | 139,48 | 3,00 | 46,49 | 8,00 | 3,80 | 7,00 | 14,40 |
| SS2= | 46,49 | 8,00 | 5,81 | | | | |



Рис. 2. Образование адвентивных почек explantами *S. acutifolia*

Цитокинины. На 14–16 сутки культивирования на базальной части explantов образовывались утолщения в виде разросшихся тканей, на которых впоследствии формировались адвентивные почки (рис. 2).

В ходе исследования было выявлено существенное различие исследуемых вариантов питательных сред, дополненных цитокининами Kп, ВАР, 2iP, по интенсивности гомогенеза *S. acutifolia* в культуре *in vitro* (табл. 3).

Наибольшее число вновь образованных почек (в среднем 4,2 шт./explant) было зафиксировано на среде с Kп, что в свою очередь на 50 % эффективнее контроля. Одновременно с этим вновь образованные побеги были более сформированными, чем на двух других исследуемых средах. На среде с 2iP новых почек образовывалось на 10 % меньше, чем в контроле (1,9 шт./explant) (рис. 3).

Т а б л и ц а 3

Дисперсионный анализ интенсивности гомогенеза на средах с исследуемыми цитокининами

| | Сумма квадратов SS | Число степеней свободы df | Средний квадрат mS | F фактический | F табличный при уровне значимости | | |
|-----------------|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------|-----------------------------------|------|-------|
| | | | | | 0,05 | 0,01 | 0,001 |
| SS ₀ | 4280,2 | 8,0 | | | | | |
| SS ₁ | 4203,6 | 2,0 | 2101,8 | 164,5 | 5,1 | 10,9 | 27,0 |
| SS ₂ | 76,7 | 6,0 | 12,8 | | | | |

В то же время Sant S. Bhojwani в своей статье [13] отмечает, что в культуре *in vitro* гибридной *Salix* ВАР индуцирует три морфологических процесса, а именно каллусирование базальной части, супрессирование корнеобразования и пролиферацию побегов. Кн вызывает каллусирование экспланта (в диапазоне концентраций 0,1 – 1,0 мг/л), но только высокие концентрации гормона ингибируют ризогенез и индуцируют гомогенез.



Рис. 3. Морфогенез растений *Salix* на средах с цитокинами Кн, ВАР, 2iP

Ризогенез. После восьми недель культивирования на средах DKW, GD, WPM, MS интенсивность ризогенеза оценивали по следующим критериям: среднее число укоренившихся побегов (табл. 4), среднее число корней на один эксплант (табл. 5), средняя длина одного корня (табл. 6).

Таблица 4

Среднее значение укоренившихся растений *Salix acutifolia*

| Время, неделя | Среда | | | |
|---------------|-------|------|------|------|
| | DKW | GD | MS | WPM |
| 2 | 34,8 | 32,8 | 26,5 | 57,4 |
| 3 | 45,2 | 45 | 41 | 54,1 |
| 5 | 67,2 | 49,7 | 55 | 75,6 |
| 8 | 65,3 | 76,7 | 96,7 | 92,6 |

Таблица 5

Среднее число корней на один эксплант (в шт.)

| Время, неделя | Среда | | | |
|---------------|-------|-----|-----|-----|
| | DKW | GD | MS | WPM |
| 2 | 0,7 | 0,7 | 0,3 | 1,1 |
| 3 | 0,9 | 1,1 | 0,5 | 1,1 |
| 5 | 1,4 | 1,3 | 1,9 | 2,4 |
| 8 | 1,3 | 1,6 | 2,3 | 2,9 |

На величину среднего значения укоренившихся растений влияние среды начинает сказываться с восьмой недели культивирования. Так, на 2, 3 и 5 неделях культивирования фактическое значение критерия Фишера, рассчитанное методом дисперсионного анализа, варьирует от 0,37 до 2,3 при табличном значении 4,2, что свидетельствует об отсутствии влияния среды на укоренение при 5 % уровне значимости. На восьмой неделе эксперимента влияние среды на процент укоренившихся растений достоверно на 1 % уровне значимости ($F_{\text{факт.}} = 8,5$ при $F_{\text{табл.0,01}} = 7,85$).

Лучший результат укоренения эксплантов *S. acutifolia* был получен на среде MS – 96,7 %, несколько меньше укоренившихся растений на среде WPM – 92,6 %, в то время как на средах DKW и GD укорененных побегов было получено на 20 % меньше (табл.4).

При оценке среднего количества корней, образовавшихся на одном экспланте, также было отмечено, что влияние среды начинает сказываться с восьмой недели культивирования. На 2, 3 и 5 неделях культивирования фактическое значение критерия Фишера, рассчитанное методом дисперсионного анализа, варьирует от 0,92 до 2,9 при табличном значении 4,2, что свидетельствует об отсутствии влияния фактора среды на значение среднего числа корней на эксплант при 5% уровне значимости. Однако на восьмой неделе эксперимента влияние среды достоверно на 1 % уровне значимости

($F_{\text{факт.}} = 6,1$, $F_{\text{табл.0,01}} = 7,85$). Экспланты на среде DKW образовывали корней на 43,5 % меньше, чем на среде MS (2,3 шт./эксплант – контроль), в то же время на среде GD среднее число корней на один эксплант составило 1,6, что также меньше, чем в контроле, на 30,4 % (табл. 5). Лучшие результаты были получены на среде WPM – 2,9 шт./эксплант, что больше, чем на среде MS, на 26 %.

Т а б л и ц а 6

Средняя длина одного корня (в мм)

| Время, неделя | Средняя длина одного корня | | | |
|---------------|----------------------------|------|------|------|
| | DKW | GD | MS | WPM |
| 2 | 4,7 | 5,3 | 7,3 | 5,3 |
| 3 | 8,2 | 7,1 | 10,1 | 12,1 |
| 5 | 11,5 | 10,5 | 15,8 | 18,2 |
| 8 | 12,4 | 12,1 | 17,4 | 18,7 |

После трёх недель культивирования средняя длина корней на исследуемых средах не имела достоверного отличия. Через восемь недель культивирования минимальная средняя длина корней наблюдалась на среде GD (12,1 шт./эксплант), что меньше, чем в контроле, на 30,5 %. Также неудовлетворительные результаты были получены на среде DKW (12,4 шт./эксплант), средняя длина корней была на 28,7 % меньше, чем на MS. Максимальная средняя длина корней в эксперименте составила 18,7 мм на среде WPM, превысив контроль на 7,5 % (см. табл. 6).

Рис. 4. Ризогенез *S. acutifolia* в культуре *in vitro*

В результате исследования было установлено достоверное отличие сред DKW, GD, MS и WPM по средней длине корня (рис. 4).

После того как растения *S. acutifolia* образовали корни, в условиях *in vitro* их вынимали из культуральных сосудов и адаптировали в почвенный субстрат. В качестве субстрата использовали торфяные таблетки «Jiffy-7» диаметром 37 мм. Неделю спустя из субстрата начали появляться корни, а еще через две недели полученные растения были высажены в горшки с почвосмесью. Дальнейшее доращивание проводили в условиях открытого грунта.

Рис. 5. Растение *S. acutifolia* через 10 недель после высадки в субстрат

Выводы. Исследования показали, что изучаемые среды существенно отличаются друг от друга по изучаемым характеристикам. При оценке параметров роста и развития побегов лучшие результаты были достигнуты на среде MS.

В ходе исследования было выявлено существенное различие исследуемых вариантов питательных сред, дополненных цитокининами Kп, BAP, 2iP, по интенсивности гомогениза *S. acutifolia* в культуре *in vitro*. Исследование показало, что использование Kп для мультипликации побегов *S. acutifolia* более эффективно, чем BAP или 2iP.

На основании полученных результатов совокупности исследуемых параметров укоренения *in vitro* эксплантов *S. acutifolia* было установлено достоверное отличие влияния минеральных солей среды культивирования на процессы ризогенеза, начиная с восьмой недели культивирования. Экспериментально установлено, что результаты, полученные на среде WPM, как правило, на 10–20 % лучше результатов, достигнутых на других исследованных средах.

Список литературы

1. *Wagner, H.* Plant drug analysis / H. Wagner, S. Blatt. – New York: Springer, 2001. – 384 p.
2. *Chrubasik, S.* Treatment of low back pain exacerbations with willow bark extract: a randomized double-blind study / S. Chrubasik, E. Eisenberg, E. Balan // American Journal of Medicine. – 2000. – V. 109. – P. 9–14.
3. *Julkunen-Tiitto, R.* Variation in growth and secondary phenolics among field cultivated clones of *Salix myrsinifolia* / R. Julkunen-Tiitto, B. Meier // Planta Medica. – 1992. – V. 258. – P. 77–80.
4. *Bergman, L.* Effects of N6-benzyladenine on shoots of five willow clones (*Salix* ssp.) cultured *in vitro* / L. Bergman, S. von Arnold, T. Eriksson // Plant Cell Tissue and Organ Culture. – 1985. – V. 4. – P. 135–144.
5. *Liesebach, M.* Approaches on vegetative propagation of difficult-to-root *Salix caprea* / M. Liesebach, G. Naujoks // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. – 2004. – N 79. – P. 239–247.
6. *Neuner, H.* *In vitro* propagation of *Salix caprea* L. by single node explants / H. Neuner, R. Beiderbeck // Silvae Genet. – 1993. – V. 42. – P. 308–310.
7. *Agrawal, DC.* Rapid micropropagation of hybrid willow (*Salix*) established by ovary culture / DC. Agrawal, K. Gebhardt // Plant Physiology. – 1994. – V. 143. – P. 763–765.
8. *Murashige, T.* A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures / T. Murashige, F. Skoog // Physiologia Plantarum. – 1962. – N. 15. – P. 473–497.
9. *Сергеев, Р. В.* Размножение *in vitro* генотипов ивы с повышенным содержанием биологически активных веществ для плантационного выращивания на салицин / Р. В. Сергеев, А. И. Шургин // Лесной журнал. – 2009. – № 6. – С. 40–45.
10. *Driver, J. A.* *In vitro* propagation of paradox walnut rootstock / J. A. Driver, A. H. Kuniyuki // Hortscience. – 1984. – V. 19. – P. 507–509.
11. *Gresshoff, P. M.* Development and differentiation of haploid *Lycopersicon esculentum* (tomato) / P. M. Gresshoff, C. H. Doy // Planta. – 1972. – V. 107. – P. 161–170.
12. *Lloyd, G.* Commercially feasible micropropagation of mountain laurel, *Kalmia latifolia* by use of shoot tip culture / G. Lloyd, B. H. McCown // Proceeding of the International Plant Propagators Society. – 1980. – V. 30. – P. 421–427.
13. *Bhojwani Sant, S.* Micropropagation method for a hybrid willow (*Salix matsudana x alba* NZ-1002) / Sant S. Bhojwani // New Zealand Journal of Botany. – 1980. – Vol. 18. – P. 209–214.

Статья поступила в редакцию 10.06.10.

R. V. Sergeyev, A. I. Shurgin

**STUDY OF MINERAL AND HORMONAL MEDIUM COMPOSITION INFLUENCE
TO PROPAGATION IN VITRO WILLOW GENOTYPES WITH HIGH
CONCENTRATION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES**

*Technology of microclonal propagation of highly productive in salicin willow genotypes with a view to create industrial plantations is developed. A total amount of salicin contained in the bark extract of selected genotypes was $7,4 \pm 0,2$ %. As a part of study DKW, GD, WPM, MS mediums influence on morphogenesis of the plants *Salix* in the culture *in vitro* was tested. It was experimentally found out that kinetin is more effective when a microclonal propagation *Salix acutifolia* Willd, than 2iP and BAP.*

Key words: *Salix, micropropagation, in vitro, 6-benzylaminopurine, isopenteliladenin 2iP, kinetin (Kn), α -naphthylacetic acid.*

СЕРГЕЕВ Роман Владимирович – аспирант кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ МарГТУ. Область научных интересов: биотехнология, культура растительной ткани, физиология растений. Автор 17 публикаций.

E-mail: rsergeyev@yahoo.com

ШУРГИН Алексей Иванович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесной селекции, недревесных ресурсов и биотехнологии МарГТУ. Область научных интересов – биологические ресурсы. Автор 45 публикаций.

E-mail: ashurgin@pochta.ru

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА: БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ, МОНИТОРИНГ И ТЕХНОЛОГИИ ПО АДАПТАЦИИ»

В МарГТУ с 28 июня по 2 июля проходила Международная конференция с элементами научной школы «Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность, мониторинг и технологии по адаптации». Конференция проводилась в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы» Федерального агентства по науке и инновациям, а также под эгидой IUFRO (Австрия) и при поддержке Европейского института леса (Финляндия). В ней приняли участие ученые Германии, Дании, Италии, Омана, США, Украины, Финляндии. Ключевыми моментами на этом форуме были проведение семинаров для молодых начинающих ученых, международное сотрудничество в области лесного хозяйства, взаимопонимание растущих угроз меняющегося климата, совместные научные исследования.

Участниками конференции была принята следующая резолюция.

Резолюция

Международной конференции с элементами научной школы «Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность, мониторинг и технологии по адаптации»

г. Йошкар-Ола

2 июля 2010 г.

В работе Международной конференции, проводимой в рамках Федеральной целевой программы «*Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы*» Федерального агентства по науке и инновациям, а также под эгидой *IUFRO* (Австрия) и *Европейского института леса* (Финляндия), приняли участие ведущие специалисты министерства лесного хозяйства Марий Эл, молодые ученые и преподаватели из университетов Башкирии, Татарстана, Москвы, Удмуртии, Марий Эл, Екатеринбурга, Нижнего Новгорода, Костромы, Архангельска и Воронежа. Из зарубежных участников конференции были профессора университетов Хельсинки (Финляндия), Орегона (США), Султана Кабуса (Оман), Дрездена (Германия), Копенгагена (Дания), Падуи (Италия), Национального лесного университета Украины (Львов) и Национального института биоресурсов и природопользования Украины (Киев), Европейского института леса (Финляндия). В рамках конференции прошел международный семинар «*Региональная оценка методов картирования растительного покрова по спутниковым снимкам*». Семь докладов зарубежных участников были представлены по видеоконференции в режиме реального времени, что позволило познакомить рос-

сийских участников с современными тенденциями в решении проблемных вопросов конференции в Европейском Союзе. В работе конференции (заочно и непосредственно в Йошкар-Оле) приняли участие 152 ученых, включая аспирантов и магистрантов.

На пленарном заседании были представлены доклады о планировании лесного хозяйства Европы и лесоводственных решениях в условиях меняющегося климата. Зарубежные и российские ученые обсудили роль лесов в проблеме изменения климата, методические аспекты оценки биологической продуктивности лесных насаждений в различных регионах России, спутниковые методы мониторинга и адаптационные технологии в лесном хозяйстве. Сотрудники ООО «Компания Совзонд» О. Н. Колесникова и Н. Б. Ялдыгина представили материалы о программном комплексе «ENVI» и особенностях работы со спутниковыми снимками Rapid Eye для решения задач лесного хозяйства.

Профессор Орегонского университета (США) О. Н. Кранкина рассказала о проектах NASA по изучению картирования растительного покрова поверхности планеты и возможных последствиях глобального потепления по данным IPCC (межправительственной комиссии по изменению климата) на территории Российской Федерации.

Доклад проф. Московского университета леса В. С. Шалаева был посвящен теме международного сотрудничества в области лесного образования и науки. Презентация показала недостаточную активность участия российской лесной науки и образования в европейских программах, что, конечно, в первую очередь обусловлено недостатком современных специалистов в этой области, свободно владеющих английским языком.

Большой интерес вызвал доклад проф. А. Р. Касимова из Университета Султана Кабуса (Оман), который был посвящен склоновому лесу Омана и его влиянию на подземный гидрологический режим. Тему фитомассы лесных насаждений в Российской Федерации открыл известный в России и за рубежом проф. В. А. Усольцев, доложив об уникальной базе данных биологической продуктивности лесов Северной Евразии. Московские коллеги из Института лесоведения РАН А. Г. Молчанов и Н. Ф. Каплина, а также доцент Башкирского государственного аграрного университета А. К. Габделхаков продолжили развитие темы оценки фитомассы и фотосинтетической продуктивности древостоев. Старший научный сотрудник Института лесоведения РАН В. В. Рубцов рассказал о влиянии изменения климата на взаимоотношения филлофагов с кормовыми породами, а проф. А. Т. Сабиров (Казанский государственный аграрный университет) доложил о проблеме сохранения биологического разнообразия в лесных экосистемах Республики Татарстан. Проф. МарГТУ Э. А. Курбанов сделал презентацию об исследованиях коллектива Центра устойчивого управления лесами по оценке зарастания сосной и березой бывших сельскохозяйственных угодий в Республике Марий Эл.

Участники конференции посетили объекты Учебно-опытного лесхоза МарГТУ, в котором на дерново-карбонатных оподзоленных суглинках произрастают высокобонитетные березовые насаждения. Проф. МарГТУ С. А. Денисов на примере нескольких участков показал, как в Учебно-опытном лесхозе по мере приближения к Заволжской песчаной низменности идет замена смешанных лиственных насаждений чистыми сосновыми. Здесь были показаны примеры создания культур ели после катастрофических пожаров 1921 года под пологом березы. Проф. Ю. П. Демаков показал участникам конференции процесс формирования искусственных и естественных смешанных насаждений на участках выработанных песчаных карьеров в районе поселка Силикатный.

Секционные доклады были посвящены вопросам: биологической продуктивности лесов, лесным культурам, дистанционному зондированию земли, оценке и маркетингу лесных услуг, исследованиям в области современного лесоводства и экологии в усло-

виях изменения климата. Во время секционных докладов молодые ученые доложили о своих научных достижениях, которые были обсуждены ведущими профессорами вузов и институтов Российской Федерации.

Ознакомившись во время международной конференции с факультетом лесного хозяйства и экологии, его кадровым потенциалом, учебной и научной деятельностью, международными связями и связью с производством, участники конференции положительно оценили работу коллектива МарГТУ в направлении кадрового и научного сопровождения устойчивого управления лесами в Российской Федерации.

Участники конференции рекомендуют:

1. Разработать проект региональной стратегии адаптации лесного хозяйства к изменению климата, в который должны быть включены оценки рисков, уязвимости и потенциальных выгод предполагаемых климатических изменений с учетом природно-географических, экономических, социальных и иных особенностей региона. Привлечь к работе над данным проектом научные коллективы вузов, специалистов производства.

2. Центру устойчивого управления лесами МарГТУ продолжить работу по развитию международной работы с привлечением дополнительного числа вузов лесного профиля, сделав упор на развитие магистерских программ и проектов в области инноваций и продолженного обучения.

3. Для обеспечения устойчивого лесопользования и воспроизводства лесных ресурсов России необходимо продолжение поиска лесоводственно- и экологически эффективных технологий естественного возобновления лесов. Необходимо уделить особое внимание естественному возобновлению основных лесообразующих пород с целью повышения устойчивости их насаждений. В то же время целевое выращивание мелкотоварной древесины с коротким оборотом рубки должно опираться на плантационное хозяйство.

4. С целью оценки биологической продуктивности и мониторинга за состоянием лесных ресурсов шире внедрять геоинформационные технологии, спутниковые снимки и программные продукты ENVI, SQL.

5. Разработать унифицированную методику оценки биологической продуктивности и баланса углерода лесных насаждений, основанную на исследованиях отечественных и зарубежных ученых.

6. Учитывая ухудшение состояния дубрав в Среднем Поволжье, ориентировать отрасль на создание и выращивание смешанных сложных насаждений дуба семенного происхождения с обязательным участием в их составе наиболее ценных, устойчивых и долговечных сопутствующих пород. При выращивании культур сосны обыкновенной также формировать смешанные насаждения, более устойчивые к пожарам и энтомофагам.

7. Для повышения качества научных исследований в российских вузах необходимо развивать международное сотрудничество, обмен идеями и сотрудниками в рамках научных проектов с зарубежными вузами. Просить зарубежных коллег по проекту участвовать в составе экспертных комиссий по оценке программ российских вузов.

Участники международной конференции отмечают, что мероприятие было организовано и проведено на высоком научно-техническом уровне, в атмосфере свободного обмена мнений и дискуссий, а также соответствовало лучшим мировым традициям научной школы для молодежи. Конференция выражает большую признательность руководству Марийского государственного технического университета, оргкомитету, Федеральному агентству по науке и инновациям и Европейскому институту леса за предоставленную возможность обсудить проблемы лесных экосистем в условиях меняющегося климата.

**INTERNATIONAL CONFERENCE
«FOREST ECOSYSTEMS IN THE CHANGING CLIMATE CONDITIONS:
BIOLOGICAL PRODUCTIVITY, MONITORING AND ADAPTATION TECHNOLOGY»**

International conference with the elements of scientific school «Forest ecosystems in the changing climate conditions: biological productivity, monitoring and adaptation technology» was hold in June, 28 – July, 2 in MarSTU. The conference was hold in the part of Federal special-purpose programme «scientific and scientific-pedagogical personnel of innovative Russia for 2009-2013» of the Federal science and innovation agency and under the aegis of IUFRO (Austria) and with the assistance of European forest institute (Finland). The scientists of Germany, Denmark, Italy, Oman, the USA, the Ukraine and Finland took part in the conference. Seminars holding for young scientists, who are just beginning their activity, international cooperation in the sphere of forestry, mutual understanding of growing threat of the changing climate and joint scientific research were the key insights of the forum.

The following resolution was accepted by the participants of the conference.

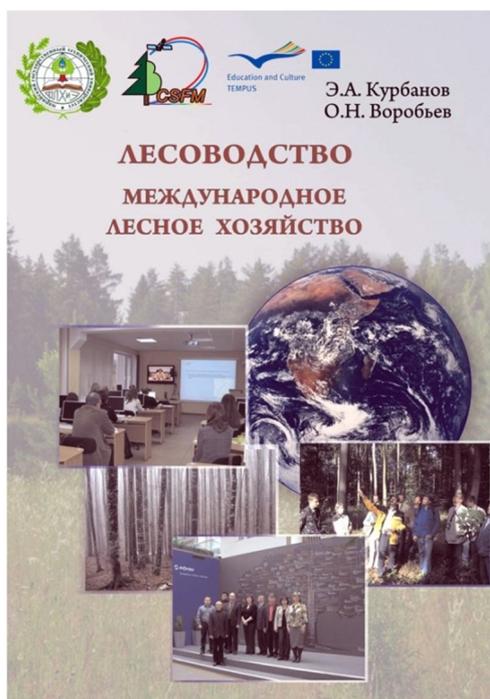
УДК 630*97

ПОЛЕЗНАЯ КНИГА

Рецензия на книгу:

Курбанов Э. А. Лесоводство. Международное лесное хозяйство: Учебное пособие / Э. А. Курбанов, О. Н. Воробьев. – 2-е изд. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2010. – 232 с.

Специалисты лесного хозяйства, аспиранты и магистранты получили возможность в одной книге познакомиться и сравнить основные показатели лесного фонда и лесного хозяйства таких зарубежных стран Европы и Америки, как Финляндия, Германия, Италия, Бразилия, Канада и США.



В издании делается акцент на институциональные аспекты управления лесами и лесным хозяйством в зарубежных развитых странах, которые прошли этап становления частной формы владения лесами; рассматриваются вопросы породного состава лесов, видов лесохозяйственных мероприятий, истории развития и современное влияние лесного хозяйства и промышленности на экономику зарубежных стран. Авторами уделено внимание и плантационному лесоводству как основе промышленного выращивания древесины с целевым ведением хозяйства. В работе характеризуются леса Северной Америки по лесорастительным регионам и разнообразному породному составу – от бореальных до тропических видов. Уникальным с точки зрения сохранения национального наследия и природных ресурсов является система национальных парков в США. Авторы нашли место в своей работе для характеристики тенденций в рекреационном использовании лесов Европы и

Северной Америки. Особое место уделяется авторами современному состоянию лесного сектора и подготовке кадров для лесного хозяйства.

Материал для книги был собран авторами с 2000 по 2009 гг. во время стажировок и научной работы в странах Европы и Северной Америки, а также в процессе непосредственного общения и переписки с представителями зарубежных компаний, профессорами, экспертами и лесоведами Европы и США.

Кроме того, обобщен большой англоязычный литературный материал, представленный на сайтах ведущих мировых организаций и предприятий, занимающихся лесами и лесным хозяйством. В учебном пособии авторы использовали наиболее цитируемые за рубежом и в России литературные источники, производственные и научные отчеты, а также современные иностранные классические учебники в области лесного хозяйства.

Иллюстративные материалы книги представлены цветными рисунками, в основном авторским фотографическим материалом, большая часть которого собрана авторами в процессе знакомства с опытом лесного хозяйства рассматриваемых стран.

© Денисов С. А., 2010.

Издание будет полезно для специалистов лесного хозяйства, преподавателей, аспирантов и студентов магистратуры и бакалавриата направления «Лесное дело» и специальности «Лесное хозяйство», а также для всех тех, кто интересуется проблемами лесной отрасли в России и ведением лесного хозяйства в развитых странах мира.

По вопросам приобретения обращаться: http://tempus.marstu.net/publications_outcome.html#IF

С. А. Денисов

Статья поступила в редакцию 11.08.10.

USEFUL BOOK

A book review:

Kurbanov E. A. Forestry. International forestry: study guide

/ E. A. Kurbanov, O. N. Vorobyov. –Yoshkar-Ola: MarSTU, 2010. – 232 p.

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

E-mail: DenisovSA@marstu.net

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

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

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

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

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

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 **42916**, тематический указатель: Научно-технические издания. Известия РАН. Известия вузов).

Следующий номер журнала выйдет в декабре 2010 года.