

ВЕСТНИК 1(15) 2012

ПОВОЛЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научный журнал

Издаётся с ноября 2007 года

Выходит четыре 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

Учредитель и издатель:

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-51790 от 23 ноября 2012 г.

Основан в 2007 г. как «Вестник Марийского государственного технического университета. Серия «Лес. Экология. Природопользование».

С 2012 г. – «Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Лес. Экология. Природопользование»

Адрес редакции:

424006, Йошкар-Ола, ул. Панфилова, 17

Тел. (8362) 68-78-46, 68-28-41

Факс (8362) 41-08-72

E-mail: vestnik@volgatech.net

Редактор *Т. А. Рыбалка*

Дизайн обложки *Л. Г. Маланкина*

Компьютерная верстка

А. А. Кислицын

Перевод на английский язык

М. А. Шалагина

Подписано в печать 15.10.12.

Формат 60×84 1/8. Усл. п. л. 12,5.

Тираж 500 экз. Заказ №

Цена свободная

Поволжский государственный
технологический университет
424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Отпечатано с готового оригинал-макета
в ООО «ОТК Пресс»
424007, Йошкар-Ола,
ул. Строителей, 95

Главный редактор **Е. М. Романов**

Главная редакционная коллегия:

Е. М. Романов, д-р с.-х. наук, профессор
(главный редактор)

В. А. Иванов, д-р физ.-мат. наук, профессор
(первый зам. гл. редактора)

А. Д. Арзамасцев, д-р экон. наук, профессор
(зам. гл. редактора)

С. А. Денисов, д-р с.-х. наук, профессор
(зам. гл. редактора)

Н. В. Рябова, д-р физ.-мат. наук, профессор
(зам. гл. редактора)

А. Н. Леухин, д-р физ.-мат. наук, профессор
(отв. секретарь)

Редакционная коллегия серии:

С. А. Денисов, д-р с.-х. наук, профессор
(зам. гл. редактора – редактор серии)

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

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

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

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

Ю. Н. Гагарин, канд. с.-х. наук (Москва)

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

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

А. С. Исаев, академик РАН (Москва)

А. И. Писаренко, д-р с.-х. наук, профессор,
академик РАСХН (Москва)

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

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

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

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

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

© Вестник ПГТУ, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

- А. Н. Гусева, А. Б. Егоров.** Оценка биологической эффективности и экологической безопасности баковых смесей современных гербицидов в лесном хозяйстве
- О. Н. Воробьев, Э. А. Курбанов, А. В. Губаев, С. А. Лежнин, Ю. А. Полевщикова.** Дистанционный мониторинг гарей в Марийском Заповольжье
- А. А. Прохорова, Е. В. Прохорова.** Изменчивость морфометрических показателей семян ели на архиве клонов
- Н. Н. Бессчетнова.** Корреляция показателей баланса воды и содержания сухого вещества в хвое плюсовых деревьев сосны обыкновенной
- В. И. Терехов, Р. В. Сергеев.** Опыт содействия естественному семенному возобновлению в байрачных дубравах Курской области

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

- О. Н. Бурмистрова, Е. В. Пластинина, М. А. Воронина.** Обоснование расчетных схем и математических моделей нежестких дорожных одежд, армированных геосинтетическими материалами
- О. Н. Галактионов, А. В. Кузнецов.** Упругие свойства массивов лесосечных отходов
- Е. В. Вайнштейн, В. М. Вайнштейн, П. А. Нехорошков.** Исследование напряженно-деформированного состояния дорожной одежды лесовозной автодороги по касательным напряжениям методом конечных элементов

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

- Е. М. Романов, Д. И. Мухортов, С. С. Гордеева, Э. В. Мичеева.** Применение биоактивирующих добавок при переработке органических отходов в нетрадиционные удобрения
- Ю. П. Демаков, С. М. Швецов, М. И. Майшанова.** Изменение зольного состава хвои, коры и древесины сосны в зоне выбросов завода силикатного кирпича
- О. С. Залывская, Н. А. Бабич.** Шкала комплексной оценки декоративности деревьев и кустарников в городских условиях на севере

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

- Э. А. Курбанов.** Международная научная конференция «Влияние аномальной погоды на природные, социально-экономические и искусственные системы: засуха 2010 г. в Поволжье России»
Информация для авторов

CONTENTS

FORESTRY

- A. N. Guseva, A. B. Egorov.** Biological effectiveness and environmental safety of modern herbicides tank mixtures in forestry 3
- O. N. Vorobyev, E. A. Kurbanov, A. V. Gubayev, S. A. Leznin, Y. A. Polevshikova.** Remote monitoring of forest burnt areas in Mari Zavolzhje 12
- A. A. Prokhorova, E. V. Prokhorova.** Spruce seeds morphometric characteristics variability on the base of clone bank 23
- N. N. Besschetnova.** Correlation of water balance rate and dry substance content in the needles of plus trees of scotch pine 28
- V. I. Terekhov, R. V. Sergeev.** Natural seed regeneration in oak forests on the example of the Kursk region 37

FORESTRY TECHNOLOGIES AND MACHINES

- O. N. Burmistrova, E. V. Platinina, M. A. Voronina.** Basis of design and mathematical models of flexible pavement, reinforced with geosynthetics 45
- O. N. Galaktionov, A. V. Kuznetsov.** Cuttings elastic characteristics 52
- E. V. Vainshtein, V. M. Vainshtein, P. A. Nekhoroshkov.** Research of strain-stress state of road structure of forest motor road by tangential stress with the use of finite-element method 64

PROBLEMS IN ECOLOGY AND RATIONAL NATURE EXPLOITATION

- E. M. Romanov, D. I. Mukhortov, S. S. Gordееva, E. V. Micheeva.** Bioactivating additives use when organic wastes processing into nontraditional organics 74
- Yu. P. Demakov, S. M. Shvetsov, M. I. Maishanova.** Ash content changes in needle, rind and wood of the scotch pine within the zone of a sand - lime brick plant emissions 85
- O. S. Zalyvskaya, N. A. Babich.** Scale of complex assessment of trees and shrub decorativeness in northern cities 96

DATES. EVENTS. COMMENTS

- E. A. Kurbanov.** International scientific conference «Impacts of extreme weather on natural, socio-economic and land-use systems: focus on the 2010 summer anomaly in the Volga region»
Information for the authors 105
107

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 632.954 + 630*23

А. Н. Гусева, А. Б. Егоров

ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ БАКОВЫХ СМЕСЕЙ СОВРЕМЕННЫХ ГЕРБИЦИДОВ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Приведены результаты исследований о действии баковых смесей на нежелательную травянистую и древесную растительность. Дается оценка биологической эффективности баковых смесей и экологической безопасности их применения. Установлены наиболее перспективные и эффективные смеси препаратов для использования в лесном хозяйстве.

Ключевые слова: *баковые смеси, раундап, арсенал, анкор-85, нежелательная растительность, биологическая эффективность, синергизм, экологическая безопасность.*

Введение. В связи со спецификой химического метода борьбы с нежелательной растительностью возникают разнообразные важные частные задачи и проблемы: подбор наиболее эффективных гербицидов; определение оптимальных доз и сроков применения; обеспечение экологической и токсикологической безопасности использования препаратов; определение экономической целесообразности применения; создание новых технических средств (аппаратуры) и оборудования для нанесения гербицидов. Последовательное решение этих задач позволяет совершенствовать ассортимент гербицидов, который будет отвечать требованиям на каждом этапе развития химического метода.

Создание принципиально нового гербицида (с новым действующим веществом) на сегодняшний день требует значительных денежных затрат (по данным на 2005 г. от 35 до 160 млн. долларов) и времени около 10 лет [1]. В связи с этим наиболее рациональным путём совершенствования ассортимента являются испытания уже известных, но новых для лесного хозяйства гербицидов и их *баковых смесей* (баковая смесь – физическое смешивание препаратов непосредственно перед обработкой в полевых условиях). Использование баковых смесей гербицидов является перспективным приёмом как для лесного, так и для сельского хозяйств. Это обусловлено тем, что использование баковых смесей, в частности в лесном хозяйстве, позволяет:

- повысить эффективность химических обработок;
- расширить спектр действия препаратов на нежелательную растительность;

- предотвратить или замедлить развитие резистентности у нежелательной растительности;
- уменьшить химическую и токсикологическую нагрузки на единицу обрабатываемой площади благодаря эффекту синергизма;
- сократить кратность обработок гербицидами;
- снизить стоимость гектарной нормы расхода гербицидов [2–5].

Актуальность использования баковых смесей связана также с тем, что ассортимент разрешённых для использования гербицидов в лесном хозяйстве России сравнительно небольшой. Наиболее важными гербицидами из числа зарегистрированных препаратов являются: раундап, ВР* (360 г/л) и другие препараты на основе глифосата; арсенал, ВК** (250 г/л) и анкор-85, ВДГ*** (750 г/кг) [6]. Данных об эффективности действия баковых смесей из перечисленных современных гербицидов на сорную растительность явно недостаточно. Трёхкомпонентные баковые смеси в лесном хозяйстве вообще не изучались, поэтому основной целью данной работы является подбор оптимальных двух- и трёхкомпонентных баковых смесей гербицидов (с разным спектром и механизмом действия) с целью повышения биологической эффективности и экологической безопасности химического метода борьбы с нежелательной растительностью в лесном хозяйстве.

Объекты и методика исследований. Для решения этой задачи в 2010–2011 гг. было заложено восемь полевых мелкоделяночных опытов по общепринятым методикам [7–9] в Гатчинском районе Ленинградской области, в основном на территории бывшего ОЛХ «Сиверский лес» (подзона южной тайги). Опыты были выполнены на различных категориях земель – на заросших сплошных вырубках, невозделываемых сельскохозяйственных угодьях, в культурах ели европейской, на площади с многолетними видами трав и в паровом поле. Данные категории земель являются основными объектами применения гербицидов.

Опрыскивание делянок препаратами проводилось при помощи ручного ранцевого опрыскивателя «Соло» (расход рабочей жидкости – 200–300 л/га) во всех опытах, за исключением опытов в культурах ели и на вырубке (опыт 2011 г.), где обработка была проведена при помощи моторного опрыскивателя «Штиль» (расход рабочей жидкости 150 л/га). Повторность опытов трёхкратная. Все опыты состояли из нескольких вариантов применения гербицидов, с различными нормами применения и в разных сочетаниях, а также контрольного варианта без обработки. Результаты учётов нежелательной травянистой растительности обработаны методом дисперсионного анализа [9].

Два опыта были выполнены на сплошных вырубках двухлетней давности в черничном и кисличном типах лесорастительных условий. Один из них был заложен в 2010 г., а второй – в 2011 г. с целью проверки полученных данных в первом опыте по эффективности действия смесей гербицидов. Травянистая растительность на этих площадях была представлена следующими основными видами: костяника (*Rubus saxtilis* L.), малина обыкновенная (*Rubus idaeus* L.), виды вейника (*Calamagrostis* spp.), виды ситников (*Juncus* spp.), иван-чай узколистный (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.) и др. Древесная растительность была представлена осинкой (*Populus tremula* L.), берёзой повислой (*Betula pendula* Roth), рябиной обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.), ольхой серой (*Alnus incana* L.), ивой (виды) (*Salix* spp.) и крушиной ломкой (*Frangula alnus* Mill.), высота деревьев составляла от 0,3 до 1,5 м. Все виды древесных и травянистых растений находились в активной стадии роста.

* ВР – водный раствор.

** ВК – водорастворимый концентрат.

*** ВДГ – водно-дисперсионные гранулы.

Другие два опыта были заложены также в разные годы, как и предыдущие два опыта. Они были выполнены на площади с многолетними видами травяного покрова, типичными для северо-западного региона России (ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.), пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Beauv.), бодяк полевой (*Cirsium arvense* (L.) Scop.), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.) и др. виды). Травянистая растительность в день обработки находилась в фазах кущения, стеблевания, бутонизации и цветения. Древесно-кустарниковая растительность отсутствовала.

Два опыта (2010–2011 гг.) были выполнены с целью установления синергизма действия гербицидов в баковых смесях. Обработки были произведены на невозделываемых сельскохозяйственных землях при выровненном агрофоне с доминированием злаковых и двудольных многолетних трав (вейник высокий (*Calamagrostis phragmitoides* Hartm.), полевица обыкновенная (*Agrostis capillaris* L.), купырь лесной (*Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm.), сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria* L.), люпин многолистный (*Lupinus polyphyllus* Lindl.) и др.). Травянистая растительность находилась в фазах цветения и плодоношения. Расчёт активности смесевых гербицидов был рассчитан по формулам Лимпела и Колби [10]. Коэффициенты совместного действия рассчитаны по формуле Попова [11].

Для оценки эффективности действия смесей гербицидов на листовые древесные породы и оценки селективности смесей по отношению к саженцам ели в 2010 г. был заложен опыт на сплошной вырубке с лесными культурами ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.). Нежелательная растительность была представлена видами, типичными для лесорастительных условий зеленомошной группы типов леса. Из нежелательных древесных пород присутствовали виды ивы (*Salix spp.*), ольха серая (*Alnus incana* L.) и виды берёзы (*Betula spp.*).

С целью оценки биологической эффективности баковых смесей гербицидов в паровых полях питомников был заложен опыт на данной категории земель в 2011 г. Травянистая растительность во время обработки находилась в фазах кущения, розетки, стеблевания и бутонизации. Отдельные виды (одуванчик) – в фазе цветения. По составу сорняков данный опыт близок к опытам, заложенным на площади с многолетними травами.

Результаты исследований. В результате анализа полученных экспериментальных данных были отобраны двух- и трёхкомпонентные баковые смеси, наиболее перспективные для использования в лесном хозяйстве. Основные выводы сделаны по результатам опытов, наблюдение в которых велось на протяжении двух вегетационных сезонов, т.к. это позволяет наиболее точно оценить эффективность действия гербицидов.

В опыте на сплошной вырубке максимальную эффективность действия на нежелательную растительность на весь вегетационный сезон показали следующие варианты (табл.1):

- раундап, 2,7 л/га + арсенал, 1,0 л/га + анкор-85, 100 г/га;
- раундап, 4 л/га + арсенал, 0,5 л/га + анкор-85, 75 г/га.

На следующий после обработки год эффективность действия этих смесей оставалась высокой до второй половины вегетационного сезона, а затем снизилась до 54–55 %.

Двухкомпонентная смесь (раундап, 4 л/га + анкор-85, 150 г/га) показала также хорошие результаты по действию на сорную растительность – эффективность в сентябре составила 89 % (см. табл.1). На следующий после обработки год эффективность действия этой смеси изменялась аналогично действию трёхкомпонентных баковых смесей. Установлено, что такая баковая смесь также обеспечивает высокую эффективность подавления нежелательной травянистой растительности на вырубке до середины сезона

Т а б л и ц а 1

Биологическая эффективность (%) действия гербицидов на нежелательную травянистую растительность по данным опыта 2010 г. на вырубке (обработка 9 июня 2010 г.)

Варианты опыта	Даты учётов				
	24 июля 2010 г.	7 сентября 2010 г.	7 июня 2011 г.	14 июля 2011 г.	17 августа 2011 г.
Раундап, 8 л/га	91 А	60 В	55 В	33 В	23 Б
Арсенал, 3 л/га	56 В	61 В	58 В	23 Г	16 Б
Анкор-85, 300г/га	51 В	45 Г	25 Г	20 Г	14 Б
Раундап, 4 л/га + анкор-85, 150 г/га	85 А	89 А	93 А	82 А	48 А
Арсенал, 1,5 л/га + анкор-85, 150 г/га	48 В	57 В	63 Б	39 В	34 Б
Раундап, 4 л/га + арсенал, 1,5 г/га	85 А	78 Б	84 Б	68 Б	48 А
Раундап, 2 л/га + арсенал, 0,75 л/га + анкор-85, 75 г/га	73 Б	69 Б	78 Б	43 В	21 Б
Раундап, 2,7 л/га + арсенал, 1 л/га + анкор-85, 100 г/га	87 А	92 А	94 А	86 А	55 А
Раундап, 4 л/га + арсенал, 0,5 л/га + анкор-85, 75 г/га	86 А	93 А	93 А	88 А	54 А
F _{факт.} =	66,05	53,57	18,78	24,16	8,99
F ₀₅ =	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46

Примечание: индексы: А, Б, В, Г обозначают группу эффективности гербицидов. А – высокая эффективность; Б – средняя эффективность; В – низкая эффективность; Г – очень низкая эффективность.

следующего после обработки года. Гербициды, применённые по отдельности с максимально разрешёнными нормами применения, значительно уступали вариантам со смесями, а на следующий после обработки год их эффективность также была очень низкой.

Все варианты со смесями в год обработки вызывали усыхание более 90 % листьев у берёзы, осины и рябины, что является хорошим показателем. На следующий после обработки год во всех вариантах наблюдалось полное усыхание древесных пород, за исключением вариантов с анкором-85, применённым отдельно, и в смеси с арсеналом. На этих делянках на второй год после обработки частично сохранила жизнеспособность берёза. Аналогичные результаты эффективности действия смесей на травянистую и древесную растительность были получены и в опыте 2011 г. на сплошной вырубке.

В опытах на площадях, заросших многолетними травами, в первый год после обработки высокую эффективность показали все испытанные баковые смеси (табл. 2). Однако, оценивая эффективность действия на сорняки в динамике, были выявлены наиболее эффективные баковые смеси:

- раундап, 4 л/га + арсенал, 0,5 л/га + анкор-85, 75 г/га;
- раундап, 2 л/га + арсенал, 0,75 л/га + анкор-85, 75 г/га + глин, 5 г/га;
- раундап, 4 л/га + анкор-85, 75 г/га + ларен, 5 г/га.

Данные трёх- и четырёхкомпонентные смеси к середине второго вегетационного сезона (через год после обработки) обеспечивали максимальную эффективность (56–65 %, см. табл.2). Действие двухкомпонентных смесей к этому сроку значительно снизилось (25–33 %), особенно в варианте со смесями арсенала с анкором-85 (1 %). Эффективность действия препаратов, применённых по отдельности, была также очень низкой (13–36 %). В опыте, выполненном в 2011 г., были получены близкие результаты по эффективности различных баковых смесей. В качестве дополнительных вариан-

тов в опыте были использованы незначительные добавки глина и ларена. Оценивая действие этих гербицидов в целом по всем срокам учёта, можно сделать вывод, что они не дают значительного усиления эффекта по действию на сорную растительность.

Т а б л и ц а 2

Биологическая эффективность (%) действия гербицидов и их смесей по снижению биомассы растений в опыте 2010 г. на площади, заросшей многолетними травами (обработка 7 июня 2010 г.)

Варианты опыта	Даты учётов		
	16 июля 2010 г.	15 сентября 2010 г.	27 июня 2011 г.
Раундап, 8 л/га	76 А	53 Б	36
Арсенал, 3 л/га	52 Б	74 Б	19
Анкор-85, 300 г/га	38 В	77 Б	13
Раундап, 4 л/га + анкор-85, 150 г/га	75 А	90 А	25
Арсенал, 1,5 л/га + анкор-85, 150 г/га	47 Б	81 А	1
Раундап, 4 л/га + арсенал, 1,5 л/га	77 А	85 А	33
Раундап, 2 л/га + арсенал, 0,75 л/га + анкор-85, 75 г/га	84 А	97 А	38
Раундап, 4 л/га + арсенал, 0,5 л/га + анкор-85, 75 г/га	85 А	94 А	56
Раундап, 2 л/га + арсенал, 0,35 л/га + анкор-85, 100 г/га	79 А	87 А	43
Раундап, 2 л/га + арсенал, 0,75 л/га + анкор-85, 75 г/га + глин, 5 г/га	75 А	93 А	56
Раундап, 4 л/га + анкор-85, 75 г/га + ларен, 5 г/га	73 А	87 А	65
Fфакт. =	24,83	15,12	1,47
F ₀₅ =	2,3	2,3	2,3

Примечание: индексы: А, Б, В, Г обозначают группу эффективности гербицидов. А – высокая эффективность; Б – средняя эффективность; В – низкая эффективность. Наименьшую существенную разницу между вариантами при последнем сроке учёта определить невозможно, т.к. $F_{факт.} < F_{05}$.

В опытах, заложенных с целью определения синергизма, было установлено, что во всех баковых смесях между компонентами возникает синергистический эффект, т.е. повышается общий эффект от действия нескольких препаратов при совместном применении сверхарифметической суммы их уровня воздействия. Так, например, исходя из данных табл. 3 видно, что во всех вариантах коэффициент совместного действия выше 1, что свидетельствует о синергизме, кроме варианта со смесью анкора-85 с арсеналом. Здесь по результатам первого учёта (см. табл. 3) было установлено простое суммирование эффектов (аддитивизм), однако затем постепенно положительное взаимодействие компонентов в этой смеси усилилось.

Т а б л и ц а 3

Коэффициенты совместного действия баковых смесей в опыте 2010 г. (обработка 19 июля 2010 г.)

Баковая смесь	Даты учётов		
	22 августа 2010 г.	20 сентября 2010 г.	07 июня 2011 г.
Раундап, 2,7 л/га + арсенал, 1 л/га	1,24	1,07	1,34
Раундап, 2,7 л/га + анкор-85, 100 г/га	1,19	1,07	1,32
Анкор-85, 100 г/га + арсенал, 1 л/га	0,98	1,01	1,51
Раундап, 2,7 л/га + арсенал, 1 л/га + анкор-85, 100 г/га	1,27	1,02	1,19

Благодаря эффекту синергизма, можно использовать меньшие нормы расхода гербицидов, снижая при этом общую химическую и токсикологическую нагрузку на экосистемы, а также стоимость гектарной нормы расхода гербицидов.

В опыте, заложенном в культурах ели, было установлено, что наиболее эффективными по действию на нежелательные листовые породы (ива, ольха, береза) и перспективными для использования при уходах являются двухкомпонентные баковые смеси гербицидов раундапа (4 л/га) и арсенала (0,1–0,3 л/га) (табл. 4). Баковая смесь раундапа (4 л/га) с максимальной нормой применения арсенала (0,5 л/га) также показала высокую эффективность, однако данная смесь вызвала повреждения культур ели, которые проявились в торможении роста и в изменении цвета (побледнении) хвои побегов текущего года. В вариантах, где были применены смеси, все листовые породы были эффективно подавлены, в то время как в вариантах с применением одного раундапа в дозах 6–8 л/га началось восстановление ивы.

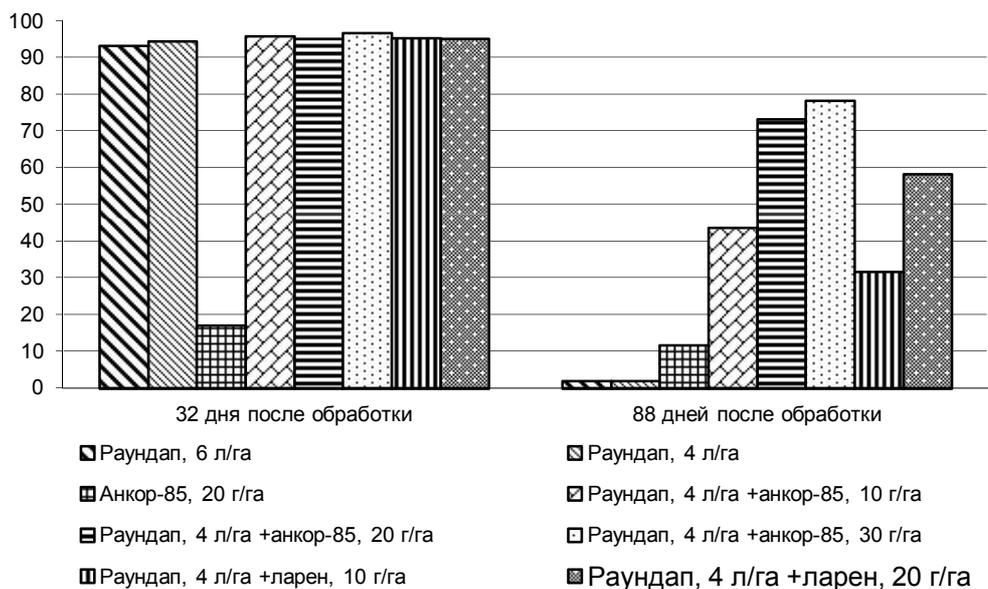
Т а б л и ц а 4

Биологическая эффективность (%) действия гербицидов и их смесей на нежелательную древесно-кустарниковую растительность при уходе за культурами ели (обработка 21 сентября 2010 г.)

Вариант опыта	Даты учётов						Состояние культур ели
	19 июня 2011 г.			14 июля 2011 г.			
	ива	ольха	береза	ива	ольха	береза	
Раундап, 4 л/га + арсенал, 0,1 л/га	92	90	100	90	83	100	без повреждений
Раундап, 4 л/га + арсенал, 0,3 л/га	93	96	100	89	98	100	без повреждений
Раундап, 4 л/га + арсенал, 0,5 л/га	97	98	100	99	100	100	с повреждениями
Раундап, 6 л/га	73	90	100	59	95	100	без повреждений
Раундап, 8 л/га	83	95	100	66	94	100	без повреждений
Контроль (без обработки)	-	-	-	-	-	-	без повреждений

В опыте, выполненном на паровом поле, наиболее эффективными оказались двухкомпонентные баковые смеси раундапа (4 л/га) с анкором-85 (10–30 г/га). Лучшая из них – раундап, 4 л/га + анкор-85, 30 г/га. В вариантах, где делянки были обработаны двухкомпонентными баковыми смесями раундапа, 4 л/га с лареном, 10 и 20 г/га, эффективность обработки была менее высокой вследствие более быстрого отрастания однодольных растений, чем в смесях с добавками анкора-85. На делянках, где был применён лишь один раундап с разными нормами применения, началось обильное восстановление одуванчика лекарственного семенным путём, эффективность к концу вегетационного сезона была практически нулевой (рис. на с. 9). Следует отметить, что незначительные добавки анкора-85 полностью инактивируются в почве к концу вегетационного сезона и не представляют опасности для посевов хвойных пород весной следующего года.

По результатам полевых исследований определены наиболее эффективные варианты применения баковых смесей гербицидов на различных объектах (табл. 5). Используемые в данной работе препараты являются малотоксичными (III класс опасности по классификации ВОЗ) и соответствуют всем современным экологическим и санитарно-гигиеническим требованиям. Установлено, что баковые смеси с высокой эффективностью, перспективные для применения на различных категориях лесных земель, существенно снижают токсическую и химическую нагрузку на экосистемы. Например, для смеси раундап, 2,7 л/га + арсенал, 1 л/га + анкор-85, 0,1 кг/га этот показатель составляет



Биологическая эффективность (%) действия гербицидов на нежелательную травянистую растительность в опыте на паровом поле (обработка 09 июня 2011 г.)

Т а б л и ц а 5

Показатели химической и токсикологической нагрузки для гербицидов и их смесей на различных лесохозяйственных объектах

Цель применения гербицидов	Вариант применения гербицидов	Токсичность для теплокровных животных (ЛД ₅₀), мг/кг	Химическая нагрузка, кг/га (л/га)	Индекс токсикологической нагрузки**
Подготовка площади под посадку лесных культур, реконструкции малоценных молодых насаждений	Раундап, 2,7 л/га + арсенал, 1,0 л/га + анкор-85, 0,1 кг/га	4900	3,8	8
		4800		
		5000		
	Раундап, 4,0 л/га + арсенал, 0,5 л/га + анкор-85, 0,075 кг/га	4900	4,6	9
		4800		
		5000		
	Раундап, 8,0 л/га*	4900	8,0	16
	Арсенал, 3,0 л/га*	4800	3,0	6
Химический уход за культурами	Раундап, 4,0 л/га + арсенал, 0,1 л/га	4900	4,1	8
		4800		
	Раундап, 4,0 л/га + арсенал, 0,3 л/га	4900	4,3	9
		4800		
	Раундап, 8,0 л/га*	4900	8,0	16
Обработка паровых полей питомника	Раундап, 4,0 л/га + анкор-85, 0,02 кг/га	4900	4,0	8
		4800		
	Раундап, 4,0 л/га + ларен, 0,02 кг/га	4900	4,0	8
		5000		
		Раундап, 6,0 л/га*	4900	6,0

Примечания: * базовые варианты; ** индекс токсикологической нагрузки рассчитывался по формуле $T_H = D / LD_{50} \cdot 10000$, где D – доза препарата, кг/га (л/га); LD₅₀ – токсичность для теплокровных животных, мг/кг.

8 единиц, а при внесении одного раундапа, 8,0 л/га – 16 единиц (табл. 4). При использовании смеси раундапа, 4 л/га с анкором-85, 0,02 кг/га или лареном, 0,02 кг/га в сравнении с одним раундапом с нормой применения 6 л/га этот показатель снижается с 12 до 8. Благодаря рациональному подбору компонентов определённых доз для баковых смесей, в большинстве случаев обеспечивается снижение токсикологической нагрузки в 1,5–2 раза при одновременном повышении биологической эффективности. В качестве базовых вариантов, с которыми сравниваются смеси, выбраны обработки раундапом и арсеналом с рекомендованными ранее нормами применения для этих объектов.

Выводы. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что применение баковых смесей на разных лесных объектах позволяет существенно повысить эффективность и экологическую безопасность химических обработок по сравнению с применением препаратов по отдельности в максимально разрешённых дозах.

Все гербициды (раундап, анкор-85, арсенал) хорошо сочетаются друг с другом в баковых смесях. Не наблюдается антагонизма их действия.

Благодаря смешиванию гербицидов с разными механизмами действия на растения, расширяется спектр воздействия на нежелательную растительность при одновременном снижении норм расхода каждого из компонентов по сравнению с применением их по отдельности, а также снижается вероятность возникновения устойчивости сорняков к препаратам. Исходя из анализа полученных экспериментальных данных установлено, что дальнейшее снижение норм применения препаратов (раундапа – ниже 2,7 л/га, арсенала – ниже 0,5 л/га, анкора-85 – ниже 75 г/га) в большинстве случаев нецелесообразно, так как приводит лишь к частичному отмиранию относительно устойчивых видов травяного покрова вырубков (вейники, малина, костяника и др.) и быстрому их восстановлению.

В ряде опытов, где испытывались как двухкомпонентные, так и трёхкомпонентные баковые смеси, последние показывали более высокую эффективность воздействия на нежелательную растительность на более длительный срок, благодаря присутствию в их составе таких персистентных гербицидов, как анкор-85 и арсенал. Наличие раундапа в смеси вызывает значительное ускорение проявления гербицидного и арборицидного действия.

По результатам опытов были отобраны новые наиболее эффективные варианты баковых смесей, которые рекомендуются в тех или иных нормах применения в зависимости от объекта и цели их использования.

Список литературы

1. Бубнов, А.А. Ассортимент гербицидов для лесного хозяйства и пути его совершенствования / А.А. Бубнов // Современные проблемы и эффективность регулирования фитоценозов в лесном хозяйстве. – СПб.: СПбНИИЛХ, 1999. – С. 23-30.
2. Быков, Н.В. Перспективные гербициды, арборициды и их баковые смеси для борьбы с нежелательной растительностью в лесу / Н.В. Быков, В.Г. Сергиенко, А.Н. Красновидов // Теория и практика химического ухода за лесом: Труды СПбНИИЛХ. – СПб.: СПбНИИЛХ, 2004. – С.29-40.
3. Егоров, А.Б. Современное состояние и основные направления лесовосстановления в таёжной зоне России с применением гербицидов / А.Б. Егоров // Теория и практика химического ухода за лесом: Труды СПбНИИЛХ. – СПб.: СПбНИИЛХ, 2004. – С.9-19.
4. Соколов, М. С. Возникновение и преодоление резистентности сорняков к гербициду / М.С.Соколов, Е.П. Угрюмов, О.Д. Филипчук // Материалы Второго Всероссийского научно-производственного совещания. – Голицино: ВНИИФ, 2000. – С.174-178.
5. Егоров, А.Б. Лесовосстановление с применением химического метода: учеб. пособие / А.Б. Егоров, А.В. Жигунов. – СПб.: СПбГЛТА, 2009. – 68 с.
6. Список пестицидов и агрохимикатов, разрешённых к применению на территории РФ // Приложение к журналу «Защита и карантин растений». – 2010. – № 6.– 804 с.

7. Методика испытаний гербицидов и арборицидов в лесном хозяйстве: методические рекомендации. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1990. – 42 с.
8. Методические указания по полевому испытанию гербицидов в растениеводстве / Госхимкомиссия при МСХ СССР, ВИЗР. – М.: ВИЗР, 1981. – 46 с.
9. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов; Изд.4-е, перераб. и доп. – М.: Колос, 1979. – 416 с.
10. Терехов, В.И. Статистическая оценка результатов испытаний пестицидов и их смесей / В.И. Терехов, С.П. Афонин. – М.: ВНИИТЭИСХ, 1971. – 115 с.
11. Раскин, М.С. Комплексные гербициды. Вопросы теории и практики / М.С. Раскин // Состояние и пути совершенствования интегрированной защиты посевов сельскохозяйственных культур от сорной растительности: Материалы Всероссийского научно-производственного совещания, Голицыно, 24-28 июля, 1995 г. – Пушкино.: ВНИИФ, 1995. – С.128-132.

Статья поступила в редакцию 04.05.12.

A. N. Guseva, A. B. Egorov

BIOLOGICAL EFFECTIVENESS AND ENVIRONMENTAL SAFETY OF MODERN HERBICIDES TANK MIXTURES IN FORESTRY

The research results of tank mixtures influence on undesirable herbaceous and tree vegetation are presented. An assessment of tank mixtures biological effectiveness and ecological safety of its use is offered. The most prospect and effective mixtures for forestry are found.

Key words: *tank mixtures, round-up, arsenal, Ankor-85, undesirable vegetation, biological effectiveness, synergism, environmental safety.*

ГУСЕВА Анна Николаевна – соискатель, младший научный сотрудник лаборатории химического ухода за лесом Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства (Россия, Санкт-Петербург). Область научных интересов – лесные культуры, сорная растительность, химическая обработка, экологическая безопасность химического метода. Автор семи публикаций.

E-mail: guseva.toropec@mail.ru

ЕГОРОВ Александр Борисович – доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией химического ухода за лесом Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства (Россия, Санкт-Петербург). Область научных интересов – лесовосстановление хозяйственно-ценных древостоев, совершенствование химического метода борьбы с нежелательной растительностью на различных объектах, включая лесное хозяйство, повышение его эффективности и экологической безопасности, совершенствование ассортимента гербицидов, химический метод и лесная сертификация FSC. Автор более 80 публикаций.

E-mail: spb-niilh@inbox.ru

УДК 528.7:630*439

**О. Н. Воробьев, Э. А. Курбанов, А. В. Губаев,
С. А. Лежнин, Ю. А. Полевщикова**

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ГАРЕЙ В МАРИЙСКОМ ЗАВОЛЖЬЕ

Проанализирована приемлемость индексов NDVI и NBR для выявления площадей гарей 1972 и 2010 гг. на территории Марийского лесного Заволжья методами дистанционного зондирования. Для исследований использованы архивные снимки Landsat MSS, TM и ETM+, лесоустроительные, полевые и спутниковые данные более высокого разрешения. Общая площадь лесных гарей на исследуемой территории составила 212,3 тыс. га в 1972 г. и 100,2 тыс. га в 2010 г. Точность полученных данных подтверждается современными критериями геоинформационной статистики и независимого международного источника пожарной информационной системы для управления природными ресурсами.

Ключевые слова: *лесные пожары, дистанционное зондирование и мониторинг лесных экосистем, индексы растительности, спутниковые снимки, ГИС.*

Введение. Лесные пожары 1972 и 2010 гг., затронувшие значительную часть Европейской части России, привели к уничтожению больших запасов древесины, домохозяйств, гибели сельского населения, нанесению урона популяциям редких видов растений и животных. Экологические, экономические и социальные последствия этих природных катастроф еще долгое время будут обсуждаться учеными, общественными организациями, журналистами и политиками. Важную роль в этом процессе играют точные данные о пройденных огнем площадях лесных насаждений, которые в последние годы оперативно отслеживаются с использованием дистанционных методов зондирования земли [1, 2]. Кроме того, тематическое картирование гарей по спутниковым снимкам является одним из активно развивающихся направлений в отечественных и зарубежных научных исследованиях по оценке биомассы лесов и эмиссии углерода [3, 4].

Одним из методов дистанционной оценки площадей гарей и степени повреждения растительного покрова после пожара является использование индексов, полученных с одновременных снимков спутника Landsat. Часто используемым в таких оценках, как с применением единовременных снимков, так и одновременных изображений (до и после пожара), является нормализованный разностный индекс растительности NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)[5, 6]. Резкие колебания в вегетационном цикле растительности, вызванные засухой и пожарами, часто приводят к аномальным траекториям их роста, что подтверждается мониторингом серии одновременных данных NDVI, полученных на снимках радиометра MODIS [7]. Значительно реже при оценках гарей применяются индексы гарей BAI (Burnt Area Index) и почвенный вегетационный SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) [8, 9]. В последние десятилетия при исследовании последствий пожаров на природные экосистемы и выявление границ гарей широкое

применение находит нормализованный индекс гарей (NBR – Normalized Burn Ratio) [10, 11]. Этот индекс используется в практической деятельности лесной службы США для оценки степени повреждения растительных экосистем от лесных пожаров на территории штатов тихоокеанского побережья [12]. Отмечается необходимость проведения долгосрочного мониторинга и разработки технологии по оценке реакции экосистемы на природные нарушения (засухи и пожары) [13].

Степень повреждения лесных экосистем огнем также оценивается исследователями по-разному. Большинство ученых при оценках степени повреждения придерживаются принципа классификации, при котором учитываются погибшие деревья основного полога древостоя, в то время как другие показатели учитываются во вторую очередь. Например, американские ученые [14] классифицируют степень повреждения (низкая, средняя и высокая) по мере снижения суммы площадей сечений (полноты) древостоя. В России наиболее используемой является методика оценки последствий пожаров, предложенная проф. И. С. Мелеховым (1948) [15] и адаптированная министерством РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий [16]. Степень повреждения по этой методике оценивается по числу отпавших деревьев и снижению запаса лесного насаждения после пожара [17].

Целью работы является оценка площадей гарей в Марийском лесном Заволжье, образовавшихся после крупномасштабных лесных пожаров 1972 и 2010 гг., с использованием нормализованного разностного индекса растительности NDVI и разностного индекса горимости NBR. Для решения этой цели были решены следующие **задачи**: 1) изучены разновременные спутниковые снимки Landsat MSS, TM и ETM+; 2) проведена неуправляемая классификация на бесшовной мозаике, полученной по нескольким спутниковым снимкам; 3) на основе индексов NDVI и Δ NBR выявлены площади гарей 1972 и 2010 гг.; 4) проведена оценка точности полученных тематических карт.

Техника эксперимента и методика исследований. Объектами исследования явились лесные гари 1972 и 2010 гг. на территории Марийского Заволжья. С целью оценки границ и степени повреждения древостоев пожарами 2010 г. полевые работы были проведены в бесснежный период 2010 и 2011 гг. на территории Килемарского, Юринского, Кокшайского, Куярского, Моркинского и Волжского лесничеств Республики Марий Эл. Наземные работы по географической привязке гарей на местности проводились при помощи GPS-приемника. Для оценки степени повреждения древостоя пожаром была использована вышеприведенная методика [16].

Для тематического картирования изучаемой местности использовались разновременные мультиспектральные спутниковые снимки Landsat MSS, TM и EMS+ с пространственным разрешением 30 и 60 м. Снимки прошли стандартный уровень 1G геометрической и радиометрической калибровки. Для формирования однородных изображений на территорию Марийского лесного Заволжья для всех снимков Landsat была проведена атмосферная коррекция в модуле FLAASH и линейное спектральное выравнивание изображений в программном комплексе ENVI-4.8. Всего в работе для оценки гарей 2010 г. было использовано 10 мультиспектральных сцен Landsat, полученных на исследуемую территорию за период с 2001 по 2011 гг. (zone 38N, zone 39N_WGS84). На основе этих снимков были получены две бесшовные мозаики на территорию Марийского лесного Заволжья за 2001 и 2011 гг., которые были использованы для выявления площадей лесных пожаров 2010 г.

Для изучения гарей 1972 г. были подобраны два снимка Landsat MSS 1973 и 1975 гг. с пространственным разрешением 60 м, по которым также была создана их мозаика на изучаемую территорию. В связи с отсутствием спутниковых снимков, сделанных до пожаров 1972 г., в работе использовался нормализованный индекс растительно-

сти NDVI и архивные лесоустроительные материалы на изучаемую территорию. Пороговые значения индекса NDVI на гаях, характеризующих степень нарушенности древостоев лесными пожарами, были приняты, как у других авторов [18, 19].

Для оценки территорий, пройденных лесными пожарами, в работе использовался нормализованный индекс гарей (NBR – Normalized Burn Ratio), который представляет собой разность спектральных отражений в ближнем и коротковолновом инфракрасных каналах, нормализованную на их сумму:

$$NBR = \frac{TM4 - TM7}{TM4 + TM7},$$

где TM4 и TM7 – спектральные значения двух каналов спутника Landsat в диапазоне (0,75–0,90 мкм) и (2,09–2,35 мкм) соответственно. Биофизической предпосылкой для применения этого индекса при оценках гарей является сопоставление отражений от неповрежденной и пройденной огнем растительности по двум одновременным изображениям. Ближний инфракрасный 4 спектральный канал спутникового радиометрического сенсора чувствителен к структуре клеток растительности. Коротковолновый 7 канал восприимчив к содержанию клеток и влажности растений, а также имеет тенденцию к увеличению на открытых участках и гаях [20, 21]. После пожара в 4-м спектральном канале (инфракрасной зоне спектра) наблюдается снижение отражения светового потока, в то время как 7-й канал (коротковолновая зона) показывает более высокие значения и вариацию по сравнению с другими каналами. Разница между этими двумя спектральными каналами показывает хорошие статистические оценки лесных пожаров площадью более чем 200 га [22, 23].

Для определения количественной оценки степени повреждения территории лесными пожарами 2010 г. был использован разностный индекс гарей ΔNBR , который вычислялся на основании разности индексов NBR, полученных на снимках Landsat ETM+ 2001 и 2011 гг. (до и после пожаров 2010 г.). Подобно NDVI нормализованный индекс гари NBR имеет диапазон значений от -1 до +1. В ненарушенных лесных насаждениях этот показатель имеет положительные значения, на открытых и поврежденных пожарами участках – отрицательные. Значение NBR имеет тенденцию к снижению при увеличении степени поврежденности растительного покрова [24].

Для полученных тематических карт на основе индекса гарей NBR были использованы мозаики 2001 и 2011 гг. мультиспектральных спутниковых снимков Landsat для территории Марий Эл, на основе которых получена базовая тематическая карта разностного индекса гарей ΔNBR . Работа по оценке гарей проводилась с использованием комплексных программных пакетов Arc GIS и ENVI-4.8.

Для получения тематических карт гарей изучаемой территории для мозаики ΔNBR в пакете ENVI-4.8 была проведена неуправляемая классификация методом ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique), что позволило определить их точные контуры (площади) и степень повреждения древостоя по вышеприведенной методике. В результате классификации была получена тематическая карта Марийского лесного Заволжья на 10 классов наземного покрова (рис. 1).

Из полученного изображения тематической карты наземного покрова был выделен тематический класс «Гари», при помощи которого в последующем был получен растровый слой «Гари 2010 г.». Для этого слоя также была применена неуправляемая классификация ISODATA, которая позволила уточнить площади гарей на исследуемой территории. На основе привлеченных данных полевых исследований, существующих карт местности и лесоустроительных материалов методом экспертной оценки был сформирован итоговый растровый слой лесных гарей на всю территорию Марий Эл, состоящий из пяти классов растительного покрова [16] разной степени нарушенности лесными пожарами 2010 г. (рис. 2).

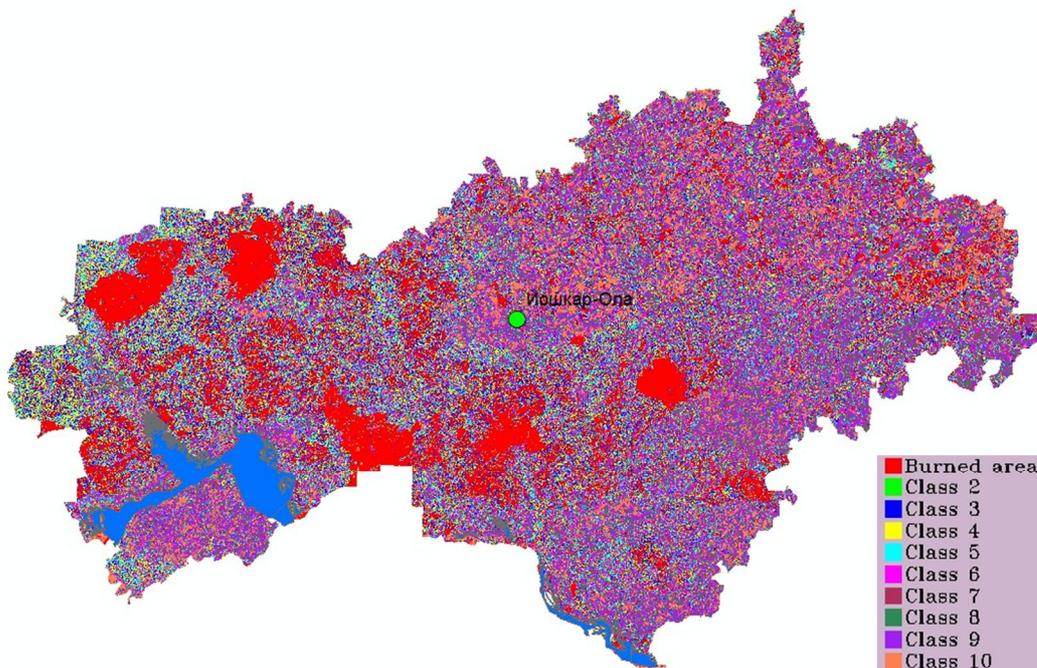


Рис. 1. Тематическая карта Марий Эл для 10 классов наземного покрова, полученная методом классификации ISODATA. На карте хорошо видны крупные очаги гарей 2010 г. (красным цветом)

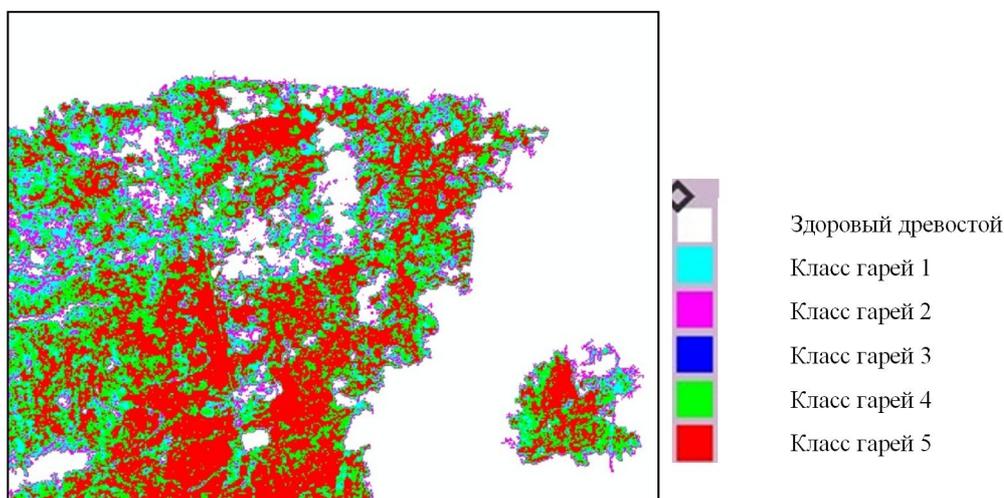


Рис. 2. Фрагмент тематического слоя «Гари 2010» на территории Килемарского лесничества, имеющего пять классов наземного покрова по степени поражения огнем (белый цвет – ненарушенный лесной покров, от голубого до красного цвета – по степени повреждения)

Сложность в выделении участков гарей разной степени повреждения на снимках Landsat в связи со смешением пикселей смежных классов снижает точность проведенных работ и повышает неопределённость исследований. В связи с этим на полученном тематическом слое пять классов гарей по степени повреждения огнем были объединены в два основных:

- Класс 1 – Древостой I, II и III степени повреждения.
- Класс 2 – Древостой IV и V степени повреждения.

К первому классу можно отнести древостои разной степени повреждения – от слабой до сильной, в которых наблюдается сохранение отдельных деревьев верхнего полога и отмирание подпологовой растительности. Ко второму классу относятся погибшие древостои, утратившие жизнедеятельность и представляющие собой валежные горельники.

Растровый слой гарей 1 и 2 классов был конвертирован в векторный (shape) формат в программном комплексе ENVI-4.8. Дальнейшая работа по анализу площади гарей была проведена в пакете ArcGis-10.

Валидация вновь полученных тематических карт была выполнена с использованием официальных данных о горимости лесов за пожароопасный период 2010 г., данных полевых исследований гарей коллектива ЦУДМЛ и сравнительный анализ снимков Landsat со снимками высокого разрешения Rapid Eye. Кроме того, был проведен анализ соответствия данных, полученных по тематическим картам, данным пожарной информационной системы для управления природными ресурсами (The Fire Information for Resource Management System, FIRMS), разработанной в Университете штата Мэриленд и поддерживаемой Национальным агентством США по аэронавтике и исследованию космического пространства (NASA) [25]. Система позволяет получать оперативную информацию о местоположении пожаров (hotspots) как центров пикселей 1x1 км на основе автоматического регистрирования высокого отражения в тепловых каналах спектра солнечного излучения снимков с камеры MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), установленной на спутниках Terra и Aqua. Для валидации наших данных использован слой участков пожаров (FIRMS) на территорию Республики Марий Эл, полученных с начала мая по конец сентября 2010 г.

Пошаговая оценка точности классификации проводилась на основе расчета коэффициентов матрицы различий (Confusion Matrix) и коэффициента Каппа (Kappa Index) [26], которые наиболее используются в современной научной литературе.

Результаты исследований. В результате классификации масок лесных гарей 2010 г. с их последующей генерализацией и объединением близких по спектральным значениям классов в программном комплексе ArcGis 10 была получена тематическая карта распределения лесных гарей 1972 и 2010 гг. и определены их площади для исследуемой территории (рис. 3, 4).

В целом по результатам исследований общая площадь гарей 1972 г. составила 212,3 тыс. га, что на 12 % выше официальных данных (180 тыс. га)[27]. В 2010 г. площадь гарей по данным, полученным на основе спутниковых снимков Landsat, составила 100,2 тыс. га, что на 28 % выше данных (72,8 тыс. га) Министерства лесного хозяйства РМЭ [28]. Площади, повторно пройденные огнем в 2010 г., составили 34228,1 га (рис. 4). При этом по степени повреждения лесных насаждений пожарами эти площади распределялись следующим образом: I класс – 57,4 тыс. га и II класс – 42,8 тыс. га. Причина отклонений данных наших исследований от данных официальной статистики может заключаться в том, что в работе учитывались площади гарей всех категорий земель, а не только лесного фонда РМЭ.

Точность проведенной оценки площадей лесных гарей 1972 и 2010 гг. и полученных тематических карт подтверждается высоким значением коэффициента Каппа (0,9), что свидетельствует о значительном соответствии проведенной классификации нашим полевым (эталонным) данным. Кроме того, высокое соответствие полученных площадей гарей подтверждает независимый источник – пожарная информационная система FIRMS (США). Как видно из рис. 5, распределение точек распространения огня (hotspots) практически полностью совпадает с контурами гарей 2010 г., полученными в данной работе. Белый фон на рисунке представляет собой неповрежденные огнем участки лесного фонда.

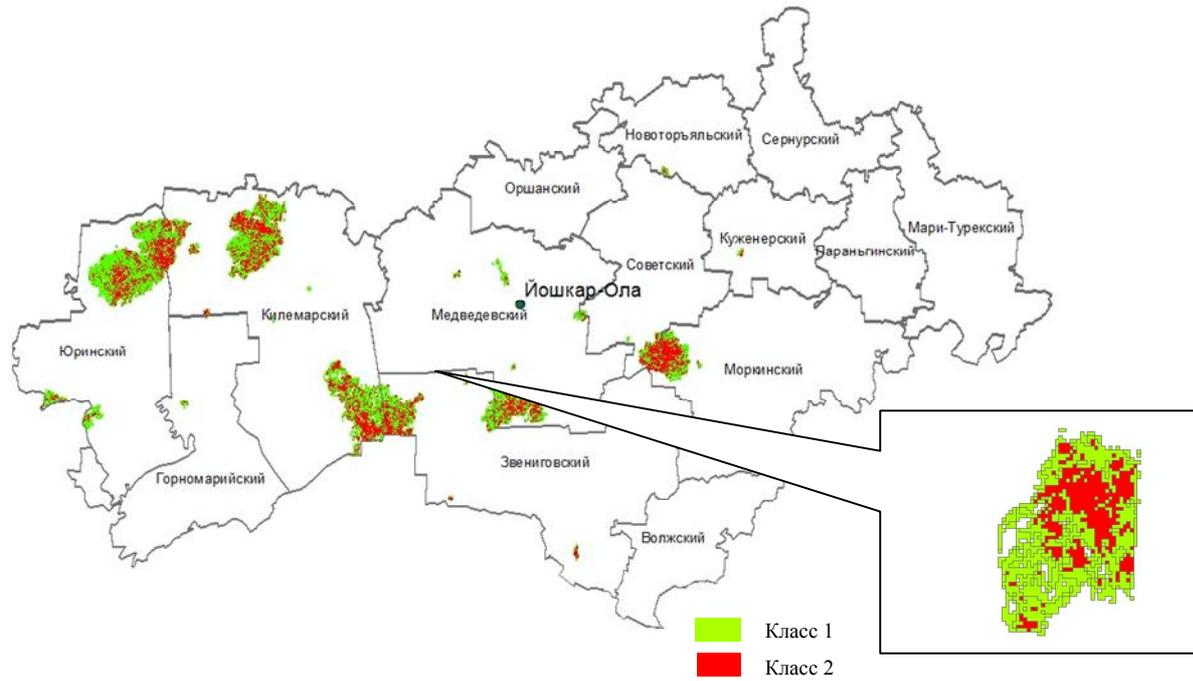


Рис. 3. Тематический слой «Гари 2010» распределения основных площадей лесных гарей в Республике Марий Эл по двум классам в зависимости от степени повреждения

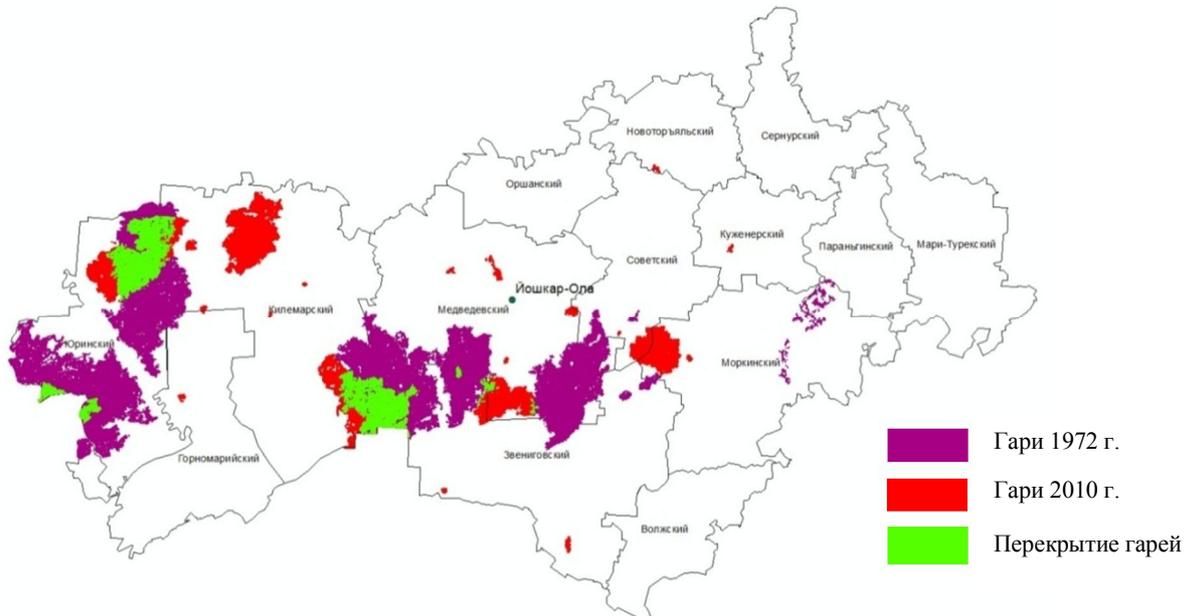


Рис. 4. Совмещенная тематическая карта площадей лесных гарей 1972 и 2010 годов на территорию Республики Марий Эл

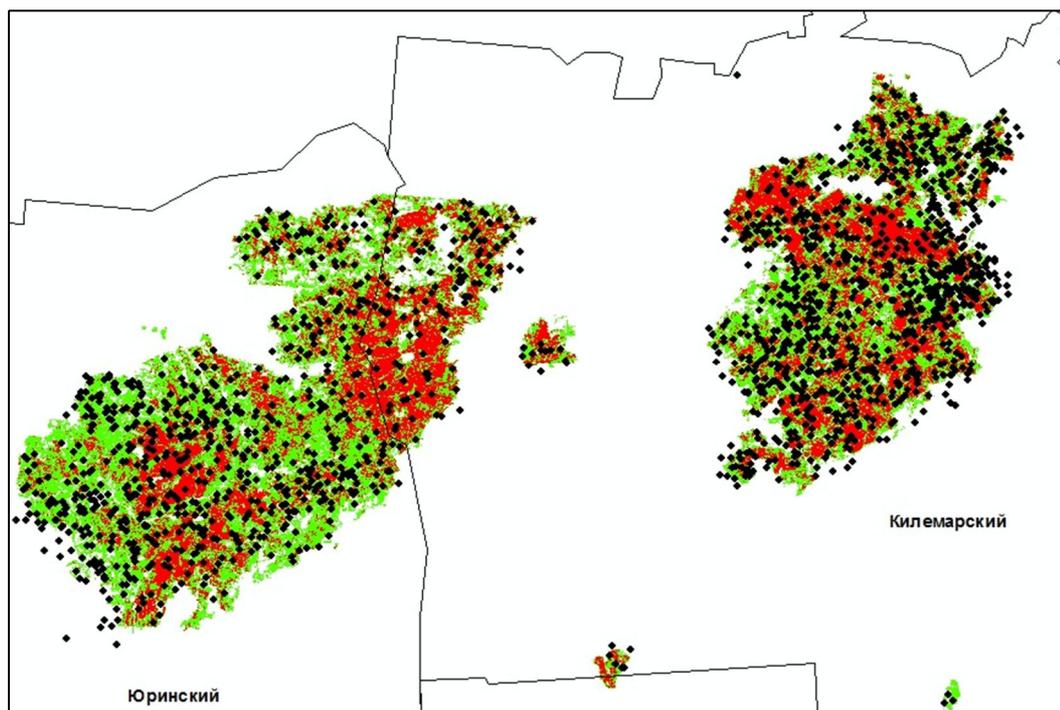


Рис. 5. Распределение hotspots (точки распространения огня – темным цветом) на территории лесных гарей Килемарского и Юринского лесничеств Республики Марий Эл

Анализ распределения гарей по исследуемой территории Марийского лесного Заволжья показал, что основная часть площади лесных пожаров 1972 и 2010 гг. пришлась на хвойные насаждения республики. Аналогичная ситуация повторилась в пожароопасный сезон 2010 г. Как видно из рис.6, повторно выгорели сосновые насаждения в центральной и северо-западной части Марий Эл. В 2010 г. в значительной степени также пострадали сосновые лесные культуры, созданные в республике после пожаров 1972 г.

Выводы

1. Исследования показали важность и достоверность данных спектрометра среднего разрешения Landsat и современных программных геоинформационных комплексов ENVI и Arc GIS для проведения дистанционного мониторинга нарушенности земель лесного фонда пожарами. Общая площадь гарей на территории Марийского лесного Заволжья по данным исследований составила в 1972 г. 212,3 тыс. га и 100,2 тыс. га в 2010.

2. Тематическое картирование, генерализация и векторизация полигонов гарей 1972 и 2010 гг. на спутниковых снимках проводилась автоматически в ГИС среде на основе нормализованного вегетационного индекса NDVI и разностного индекса гарей ΔNBR , что позволило исключить субъективность при оценке результатов. Оценка точности полученных данных площадей гарей на основе полевых исследований и независимых источников свидетельствует о высокой их достоверности и верности выбора применённых индексов.

3. Совмещение тематических карт гарей 1972 и 2010 гг. показало, что в определенной степени лесные пожары 2010 г. были закономерно отмечены на тех же площадях и районах Марийского лесного Заволжья, которые пострадали от пожаров в 1972 г. Площади, повторно пройденные огнем в 2010 г., составили 34228,1 га.

4. Детальный мониторинг состояния гарей может быть осуществлен с использованием спутниковых снимков более высокого разрешения.

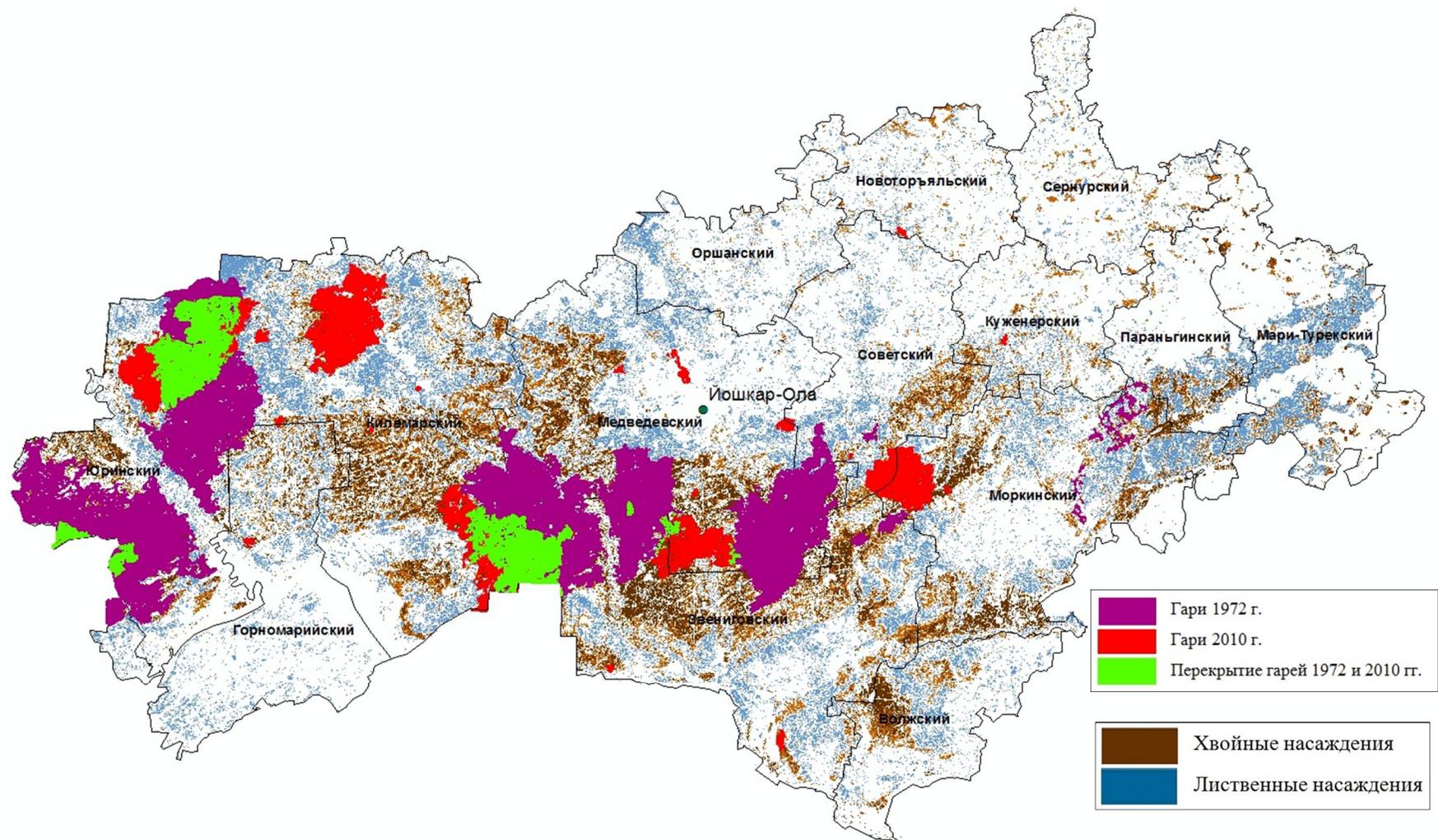


Рис. 6. Распределение гарей 1972 и 2010 гг. на тематической карте по двум основным классам растительного покрова Республики Марий Эл

Список литературы

1. Курбанов, Э.А. Дистанционный мониторинг динамики нарушений лесного покрова, лесовозобновления и лесовосстановления в Марийском Заволжье / Э.А. Курбанов, Т.В. Нуреева, О.Н. Воробьев и др. // Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2011. – № 3 (13). – С. 17-24.
2. Барталев, С.А. Оценка площади пожаров на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения MODIS и Landsat-TM/ETM+/ С.А. Барталев, В.А. Егоров, В.Ю. Ефремов и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – № 2. – Т.9. – С. 343-351.
3. Krankina, O.N. Carbon stores, sinks, and sources in forests of northwestern Russia: can we reconcile forest inventories with remote sensing results? / O.N. Krankina, M.E. Harmon, W.B. Cohen et al. // Climatic change. – 2004. – № 67. – Pp. 257–272.
4. Курбанов, Э.А. Оценка зарастания земель запаса Республики Марий Эл лесной растительностью по спутниковым снимкам / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев и др. // Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2010. – № 2(9). – С. 14-20.
5. Escuin, S. Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images/ S. Escuin, R. Navarro, P. Fernandez // International Journal of Remote Sensing. – 2008. – № 29. – Pp. 1053-1073.
6. Jose, R.R.L. Using MODIS-NDVI for the Modeling of Post-Wildfire Vegetation Response as a Function of Environmental Conditions and Pre-Fire Restoration Treatments / R.R.L. Jose, W.J.D. van Leeuwen, G.M. Casady // Remote sensing. – 2012. – № 4. – Pp. 598-621.
7. van Leeuwen, W.J.D. Monitoring the effects of forest restoration treatments on post-fire vegetation recovery with MODIS multitemporal data/ W.J.D. van Leeuwen // Sensors. – 2008. – № 8. – Pp. 2017–2042.
8. Chuvieco, E. Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination / E. Chuvieco, M.P. Martin, A. Palacios // International Journal of Remote Sensing. – 2002. – № 23. – Pp. 5103–5110.
9. Wittenberg, L. Spatial and temporal patterns of vegetation recovery following sequences of forest fires in a Mediterranean landscape Mt Carmel Israel / L. Wittenberg, D. Malkinson, O. Beerli, A. Halutzky, N. Tesler // Catena. – 2007. – № 71. – Pp. 76–83.
10. Lopez, G.M.J. Mapping burns and natural reforestation using thematic mapper data / G.M.J. Lopez, V. Caseles // Geocarto International. – 1991. – № 6. – Pp. 31-37.
11. Key, C.H. Remote sensing sensitivity to fire severity and fire recovery. In J. de la Riva and E. Chuvieco, eds. 2005. Proceedings of the 5th International Workshop on remote sensing and GIS applications to forest fire management: fire effects assessment. Universidad de Zaragoza, Spain, 16-18 June 2005. – Pp. 29-39.
12. Howard, S.M. An evaluation of Gap-Filled Landsat SLC-Off imagery for wildland fire burn severity mapping / S.M. Howard, M.L. Lacasse // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 2004. – № 70. – Pp. 877–879.
13. Лупян, Е.А. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («Вега») / Е.А. Лупян, И.Ю. Савин, С.А. Барталев и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т.8. – № 1. – С. 343-351.
14. Larson, A.J. Patterns of conifer tree regeneration following an autumn wildfire event in the western Oregon Cascade Range, USA / A.J. Larson, J.F. Franklin // Forest Ecology and Management. – 2005. – 218. – Pp. 25-36.
15. Мелехов, И.С. Влияние пожаров на лес / И.С. Мелехов. – М.-Л.: Гослестехиздат, 1948. – 126 с.
16. Методика оценки последствий лесных пожаров. Сборник методик по прогнозированию возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий в РСЧС (книга 2). – М.: МЧС России, 1994. – 11 с.
17. Демаков, Ю.П. Лесоводство. Ведение хозяйства в лесах, повреждённых пожарами/ Ю.П. Демаков, К.К. Калинин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. – 136 с.
18. Martin, M.P. Mapping and evaluation of burned land from multitemporal analysis of AVHRR NDVI images / M.P. Martin, E. Chuvieco // Advanced in Remote Sensing. – 1995. – № 3(4). – Pp. 7–13.
19. Leon, J.R.R. Using MODIS-NDVI for the modeling of post-wildfire vegetation response as a function of environmental conditions and pre-fire restoration treatments / J.R.R. Leon, J.D.V.L Willem, G.M. Casady // Remote Sensing. – 2012. – № 4. – Pp. 598-621.
20. Key, C.H. Ecological and sampling constraints on defining landscape fire severity / C.H. Key // Fire Ecology. – 2006. – № 2. – Pp. 34-59.
21. Cansler, C.A. How Robust Are Burn Severity Indices When Applied in a New Region? Evaluation of Alternate Field-Based and Remote-Sensing Methods / C.A. Cansler, D. McKenzie // Remote sensing. – 2012. – № 4. – Pp. 465-483.

22. Cocks, A.E. Comparison of burn severity assessments using differenced normalized burn ratio and ground data/ A.E. Cocks, P.Z. Fule, J.E. Crouse// International Journal of Wildland Fire. – 2005. – № 14. – Pp 189-98.
23. Loboda, T. Regionally adaptable dNBR-based algorithm for burned area mapping from MODIS data / T. Loboda, K.J. O'Neal, I. Csiszar// Remote Sensing of the Environment. – 2007. – № 109(4). – Pp. 429-442.
24. Wagtendonk, J.W. Comparison of AVIRIS and Landsat ETM+ detection capabilities for burn severity / J.W. Wagtendonk, R.R. Root, C.H. Key// Remote Sensing of Environment. – 2004. – № 92. – Pp. 397-408.
25. The Fire Information for Resource Management System (FIRMS) <http://firefly.geog.umd.edu/firms> (дата обращения 10.06.2012).
26. Губаев, А.В. Классификация наземного покрова Среднего Поволжья по спутниковым снимкам среднего разрешения / А. В. Губаев, Э. А. Курбанов, О. Н. Воробьев и др. // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: материалы международного научно-практического семинара [Электронный ресурс]. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011. – С.7-19. URL: <http://csfm.marstu.net/publications.html> (дата обращения 10.06.2012).
27. Проблемы ликвидации последствий лесных пожаров 1972 г. в Марийской АССР: Сборник докладов и выступлений на выездном заседании секции лесного хозяйства и лесной промышленности научно-технического совета МВ и ССО СССР, проходившем в Йошкар-Оле с 16 по 21 сентября 1974 г. – Йошкар-Ола: Марийское книжное издательство, 1976. – 143 с.
28. Республиканская целевая программа «Лесовосстановление гарей 2010 года на 2011-2016 годы». http://gov.mari.ru/lawdocs/gov_decrees/2011/ (дата обращения 10.06.2012).

Статья поступила в редакцию 15.06.12.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, соглашение № 14.В37.21.1245 Министерства образования и науки Российской Федерации «Дистанционный мониторинг и прогнозирование состояния лесных насаждений по спутниковым снимкам», 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» и тематического плана Министерства образования и науки Российской Федерации на 2012-2014 гг. «Оценка, мониторинг и прогнозирование биологической продуктивности лесов по данным спутниковой съемки».

O. N. Vorobyev, E. A. Kurbanov, A. V. Gubayev, S. A. Leznin, Y. A. Polevshikova

REMOTE MONITORING OF FOREST BURNT AREAS IN MARI ZAVOLZHJE

The NDVI and NBR indexes for the estimation of burnt forest areas of 1972 and 2010 wild fires in Mari Zavolgie Region with the use of remote sensing have been studied. In the study we used Landsat MSS, TM and ETM+ archive images, forest inventory data, experimental sample plots and satellite images of the higher resolution. The total forest burnt area on the territory of Middle Zavolgie regions was estimated as 212.3 thousand ha in 1972 and 100.2 thousand ha in 2010. Accuracy of the data has been estimated by the modern criteria of geo information statistics and independent sources like FIRMS.

Key words: forest fires, remote sensing, vegetation indexes, satellite images, GIS, monitoring of forest ecosystems.

ВОРОБЬЕВ Олег Николаевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства Поволжского государственного технологического университета (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – дистанционное зондирование лесов, депонирование углерода лесными экосистемами, мониторинг лесных экосистем. Автор более 40 научных и учебно-методических работ.

E-mail: vorobievon@volgatech.net

КУРБАНОВ Эльдар Аликрамович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства, начальник управления международного сотрудничества Поволжского государственного технологического университета, руководитель Центра устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – устойчивое управление лесами, биологическая продуктивность лесных экосистем, депонирование углерода лесными экосистемами, дистанционное зондирование земли, леса Киото. Автор более 100 научных и учебно-методических работ.

E-mail: kurbanovea@volgatech.net

ГУБАЕВ Александр Владимирович – аспирант кафедры лесоводства Поволжского государственного технологического университета (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – дистанционное зондирование земли, биологическая продуктивность лесных экосистем. Автор более 20 научных работ.

E-mail: galex@volgatech.net

ЛЕЖНИН Сергей Анатольевич – аспирант кафедры лесоводства Поволжского государственного технологического университета (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – дистанционное зондирование земли, биологическая продуктивность лесных экосистем. Автор более 15 научных работ.

E-mail: lejninsa@volgatech.net

ПОЛЕВЩИКОВА Юлия Александровна – программист кафедры лесоводства Поволжского государственного технологического университета (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – дистанционное зондирование земли, биологическая продуктивность лесных экосистем. Автор более 10 научных работ.

E-mail: polevshikovaya@volgatech.net

УДК 630*165.6

*А. А. Прохорова, Е. В. Прохорова***ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
СЕМЯН ЕЛИ НА АРХИВЕ КЛОНОВ**

Изучена изменчивость семян ели рамет на клоновом архиве по морфометрическим показателям: длине, ширине, форме семени, массе 1000 штук семян. Установлена индивидуальная и эндогенная изменчивость этих показателей.

Ключевые слова: ель, изменчивость, рамета, размеры, форма и масса семян.

Введение. В проекте концепции федеральной целевой программы «Развитие лесного семеноводства на период 2009–2020 годов» указывается, что повышение продуктивности, качества, устойчивости лесов, усиление их средообразующих функций – одна из основных задач лесного комплекса Российской Федерации. Средством ее решения является использование при воспроизводстве лесов семян с ценными наследственными свойствами. Лесной кодекс Российской Федерации устанавливает, что при воспроизводстве лесов должны использоваться улучшенные и сортовые семена лесных растений, а если такие семена отсутствуют, то нормальные семена лесных растений [1].

Качество семян, получаемых с объектов постоянной семенной базы, в конечном итоге определяет эффективность семеноводства. Т. П. Некрасова считает, что к качественным показателям семян, кроме посевных, относятся морфометрические особенности. Морфологическая характеристика семян определяется их величиной, формой и морфологической специализацией [2].

Семена ели европейской описываются как крылатые, до 4(5–6) мм длиной, 2 мм шириной, темно-бурые, матовые, продолговато-яйцевидные, кончики семян отогнуты [3]. Семена ели сибирской характеризуются следующими показателями: длина – 4 (3,9 – 4,2) мм, ширина – 2,3 (2,2–2,4) мм [4].

По мнению С. А. Мамаева, на величину семян могут влиять экологические факторы или эндогенные причины, дифференцированные у деревьев разной величины. Наиболее важным фактором индивидуальной изменчивости семян является генотипическое варьирование этого признака [5]. Отмечается при этом значительное варьирование размеров и форм семян, определяемое наследственностью, но при сильном отклонении условий от обычных они тоже значительно изменяются [2].

По данным П. П. Попова, на Урале масса 1000 штук семян внутри популяции на различных деревьях ели сильно варьирует, в такой же степени она изменчива и по популяциям на всей территории ареала [4]. В то же время он отмечает невысокую внутри межпопуляционную изменчивость морфометрических показателей семян ели сибирской. На морфологические особенности семян, как прогностические признаки интенсивности роста сеянцев на первых этапах жизни, указывают И. И. Попивший, Т. Д. Солomatова, отмечая при этом большую массу 1000 семян у клоновых потомств [6]. Ещё ранее более высокую массу семян ели на клоновых плантациях отмечал В. И. Долголиков [7].

Таким образом, исследования морфологических особенностей семян хвойных: сосны обыкновенной (С. А. Мамаев), сосны сибирской (Т. П. Некрасова), ели (П. П. Попов, В. И. Долголиков, И. И. Попивций) свидетельствуют об изменчивости морфологических признаков, определяемых генотипом растений, а также экологическими факторами.

Цель работы – изучение особенностей морфологии семян ели клоновых потомств на архиве клонов.

Решаемые задачи – дать анализ изменчивости морфологии семян ели в связи с их принадлежностью к раметам клоновых потомств, представленных на архиве клонов.

Методы исследования. Семена для исследования собирались в архиве клонов ели Куженерского лесничества Республики Марий Эл. В связи с утратой схемы размещения клонов в архиве не удалось установить точное размещение клонов и их рамет. У всех пронумерованных рамет собрано по 10-15 или все имеющиеся шишки. Извлеченные семена из шишек одной раметы объединялись в одну партию, а из смешанного образца каждой партии для измерения отбиралось по 10-12 семян. Измерялись длина семени – L_s , ширина семени – B_s (мм) и вычислялось отношение B_s/L_s семени. Измерения производили, используя микроскоп МБС-10 с двухкратным увеличением. Определялась масса 1000 штук семян, г. Всего измерено более 1100 штук семян. Все данные обработаны с применением методов вариационной статистики с использованием программы Microsoft Excel.

Анализ результатов. Анализ 1120 штук семян 132 деревьев клоновых потомств плюсовых деревьев ели в архиве клонов показал, что длина семени варьирует от 3,0 до 5,0 мм, ширина – 1,9-2,9 мм. Если судить по этим показателям, то следует считать, что в архиве имеются деревья, принадлежащие к ели европейской, с длиной семени более 4 мм и ели сибирской с длиной семян менее 4 мм.

Анализ длины семени у каждой конкретной раметы показал следующее. Длина семени варьирует от 1,8 до 5,8 мм, при средней длине 4,07 мм. По длине семени можно выделить три группы рамет: с короткими ($L_s \leq \bar{x} - \delta$) – менее 3,6 мм; средними ($L_s = \bar{x} \pm \delta$) – от 3,7 до 4,4 мм; длинными ($L_s \geq \bar{x} + \delta$) – более 4,4 мм семенами. Доля рамет с короткими семенами составила 12,9 %, со средними – 73,5 % и с длинными – 13,6 %. В пределах группы изменчивость длины семени отдельных рамет неодинакова. В табл. 1 приведены данные о средних значениях длины семени по раметам, а также данные длины семени случайно взятых отдельных рамет, входящих в эту группу.

Таблица 1

Статистические показатели длины семени (мм) рамет в архиве клонов

Группы рамет	Раметы	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	V, %	min	max
короткие	1	3,0±0,2	23,9	2,2	4,0
	2	3,1±0,3	27,1	2,0	4,4
	3	3,3±0,1	7,4	2,8	3,6
	среднее	3,3±0,05	16,9	2,0	4,4
средние	1	3,7±0,4	27,1	1,8	4,8
	2	4,0±0,2	12,5	3,0	4,6
	3	4,3±0,2	14,9	3,2	5,2
	среднее	4,1±0,02	11,2	1,8	5,2
длинные	1	4,5±0,2	13,1	4,0	5,8
	2	4,6±0,1	9,6	3,6	5,4
	3	5,0±0,1	7,8	4,2	5,6
	среднее	4,6±0,03	8,4	3,6	5,8
В среднем по архиву		4,07±0,02	13,7	1,8	5,8

Семена, извлеченные из шишек одной раметы, имеют неодинаковую длину, определяемую эндогенной изменчивостью. Эндогенная изменчивость длины семени характеризуется различной амплитудой колебания. В одних случаях максимальные значения длины семени в 2,2 раза превышают минимальное, в других – 1,2 раза, но чаще всего это отношение составляет 1,4-1,5 раза. Коэффициент изменчивости составляет 5,1–23,9 %, что характеризует уровни изменчивости длины семени отдельных рамет от очень низкой (5,1 %) и низкой (7,8–12,6 %) у одних до средней (13,1–14,8 %) и повышенной (23,9 %) у других.

Ширина семени изменяется от 1,2 до 4,2 мм, при средней ширине 2,48 мм. Различия рамет по ширине семени приведено в табл. 2 (приведены данные о средних значениях ширины семени по группам, а также данные ширины семени случайно взятых отдельных рамет, входящих в эту группу).

Т а б л и ц а 2

Статистические показатели ширины семени (мм) по группам

Группы рамет	Раметы	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	V, %	min	max
узкие	1	1,9±0,1	20,9	1,4	2,4
	2	2,1±0,1	15,0	1,6	2,8
	3	2,2±0,1	21,0	1,2	2,6
	среднее	2,2±0,04	15,8	1,2	2,8
средние	1	2,3±0,1	10,6	2,2	3,0
	2	2,5±0,2	25,6	1,2	3,8
	3	2,6±0,07	8,7	2,4	3,0
	среднее	2,5±0,01	11,8	1,2	4,2
широкие	1	2,7±0,1	8,5	1,6	2,8
	2	2,8±0,1	3,6	2,6	2,8
	3	2,9±0,1	8,5	2,4	3,4
	среднее	2,7±0,02	11,0	1,6	3,4
В среднем по архиву		2,48±0,01	13,4	1,2	4,2

Отличия по ширине семян менее значительны, чем по длине, но по этому показателю можно выделить три группы рамет: с узкими ($B_s \leq \bar{x} - \delta$) с шириной менее 2,2 мм; средними ($B_s = \bar{x} \pm \delta$) – от 2,3 до 2,6 мм; широкими ($B_s \geq \bar{x} + \delta$) – более 2,7 мм семенами. Доли этих групп составили, соответственно, 11,9; 70,3; 17,8 %.

По ширине семян также выявлена эндогенная изменчивость, коэффициент вариации равен 3,6–20,9 %, то есть изменчивость ширины семян у отдельных рамет изменяется от очень низкой (3,6 %) до повышенной (20,9 %).

Отношение ширины семени к его длине B_s/L_s характеризует форму семени. Выделены следующие группы: длинные и широкие; длинные и средние; длинные и узкие; средние и широкие; средние и средние; средние и узкие; короткие и широкие; короткие и средние; короткие и узкие (табл. 3). Ширина семени в среднем составляет 61–62 % от длины, но у конкретных рамет соотношение может быть иным, так же как и абсолютные показатели длины и ширины семени.

Соотношение ширины к длине семени варьирует от 0,48 до 0,79, причем одно и то же соотношение характерно для семян отдельных рамет из разных групп по форме семени. Например, раметы, имеющие семена в группах средние по длине и узкие, длинные и средние по ширине, имеют $B_s/L_s=0,50-0,51$. В то же время в одной и той же группе по форме семян это соотношение может быть неодинаковым, что характеризует индивидуальные особенности семян раметы. Например, у разных рамет из группы длинные и широкие это соотношение составляет 0,64 и 0,57, из группы средние и широкие

Т а б л и ц а 3

Статистические показатели длины и ширины семян, V_s/L_s рамет по группам форм семени

Группа формы семени	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$		V_s/L_s
	длины семени (L_s), мм	ширины семени (V_s), мм	
длинные, широкие	4,8±0,07	2,9±0,1	0,60
	4,6±0,07	2,8±0,07	0,60
	4,7±0,08	2,7±0,05	0,57
длинные, средние	5,0±0,1	2,5±0,1	0,5
	4,6±0,1	2,6±0,07	0,56
	4,5±0,08	2,5±0,07	0,55
длинные, узкие	4,5±0,2	2,2±0,1	0,48
средние, широкие	4,4±0,2	2,7±0,09	0,61
	4,2±0,06	2,9±0,07	0,69
средние, средние	3,9±0,09	2,7±0,07	0,69
	4,2±0,08	2,6±0,1	0,61
	4,1±0,1	2,4±0,09	0,58
средние, узкие	4,3±0,09	2,5±0,04	0,58
	4,3±0,2	2,2±0,1	0,51
	3,9±0,1	2,2±0,1	0,56
короткие, широкие	3,9±0,1	2,1±0,1	0,53
	3,4±0,2	2,7±0,1	0,79
	3,2±0,2	2,5±0,1	0,78
короткие, средние	3,6±0,2	2,5±0,04	0,69
	3,3±0,2	2,4±0,2	0,72
	3,3±0,2	2,2±0,1	0,67
короткие, узкие	3,5±0,2	2,1±0,2	0,60
	3,1±0,03	2,0±0,1	0,64

0,61 и 0,69, из группы короткие и средние 0,69 и 0,78. В целом, у изучаемой совокупности доля рамет в ступенях V_s/L_s неодинакова, преобладают семена, имеющие ступень V_s/L_s 0,56-0,60 – 33,9 % и ступень 0,61-0,65 – 21,2 %, меньше всего рамет со ступенью 0,46-0,50 – 2,6 % и 0,76-0,80 – 0,9 %. Эти данные по отношению V_s/L_s свидетельствуют о том, что форма семени очень разнообразна и объясняется положением их в шишке, то есть эндогенной изменчивостью, а также принадлежностью к различным клонам, определяющим индивидуальную изменчивость.

Одним из показателей качества семян является масса 1000 штук семян. По литературным данным, средняя масса 1000 штук семян ели европейской составляет 5,1 г, колеблется в пределах от 3 до 8 г, у ели сибирской – менее 5 г [3]. В. И. Долголиков делит гибридные семена ели по массе на 11 фракций с массой одного семени от 2 до 12 мг, но с преобладанием доли семян с массой от 5 до 8 мг [7]. Согласно «Указаниям по лесному семеноводству в Российской Федерации» (2000 г.), средняя масса 1000 штук семян ели европейской равна 5,8 г, максимальная – 12 г, минимальная – 3,1 г, для ели сибирской эти показатели равны, соответственно, 4,7; 8,4 и 2,9 г.

В изучаемом архиве клонов ели преобладают потомства ели гибридной (*Picea fen-pica*). Масса 1000 штук варьирует от 3,3 до 9,1 г, при средней 5,68 г, что несколько меньше, чем для ели европейской (на 2 %), и больше, чем для ели сибирской (17,4 %). Раметы по массе 1000 штук семян распределены следующим образом: с массой 1000 штук семян более 5 г – 73,5 %, доля рамет с мелкими семенами от 2,5 до 3,5 г – 8 %. Доля рамет с особенно крупными семенами (свыше 7,5 г) составляет 11,2 %, но рамет с семенами с максимально возможной массой (12 г) в архиве не обнаружено.

Между размерами и массой семян установлена прямая корреляционная связь. Коэффициент корреляции (r) между длиной семени и массой 1000 штук семян варьирует

от 0,37 до 0,72, указывая на умеренную и сильную связь между этими величинами, в целом для изучаемой группы связь значительная ($r=0,56$). Между шириной семени и массой 1000 штук семян коэффициент корреляции варьирует от 0,39 до 0,69, то есть связь между этими показателями изменяется от умеренной до значительной. Для всей группы связь между шириной семени и массой 1000 штук семян значительная ($r=0,56$), такая же, как между длиной семени и массой 1000 штук семян.

Вывод. Таким образом, изучение морфометрических показателей семян ели в архиве клонов показало, что по всем изучаемым признакам: длине (L_s), ширине (B_s), отношению B_s/L_s , массе 1000 штук семян существует индивидуальная и эндогенная изменчивость. Подобное варьирование этих показателей семян характерно для семян ели в естественных древостоях. Клоновое потомство плюсовых деревьев ели, отобранных в разных лесничествах Республики Марий Эл, образует семена, изменчивость которых характерна для показателей семян естественных древостоев ели. Это свидетельствует о сохранении естественного многообразия ели по изучаемым показателям в архиве клонов.

Список литературы

1. Лесной кодекс Российской Федерации. – М.: «Омега-Л», 2007. – 55 с.
2. Некрасова, Т. П. Биологические основы семеношения кедров сибирского / Т. П. Некрасова. – Новосибирск: Наука, 1972. – 275 с.
3. Пчелин, В. И. Дендрология / В. И. Пчелин. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2007. – 520 с.
4. Попов, П. П. Ель европейская и сибирская: Структура, интеграция и дифференциация популяционных систем / П. П. Попов. – Новосибирск: Наука, 2005. – 231 с.
5. Мамаев, С. А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства Pinaceae на Урале) / С. А. Мамаев. – М.: Наука, 1973. – 284 с.
6. Попивций, И. И. Характеристика лесных семян / И. И. Попивций, Т. Д. Соломатова // Лесное хозяйство. – 2001. – № 6. – С. 25-27.
7. Долголиков, В. И. Величина шишек и семян ели на клоновых семенных плантациях / В. И. Долголиков // Лесное хозяйство. – 1997. – № 3. – С. 46-48.

Статья поступила в редакцию 25.01.11.

Исследования выполнены на базе лабораторий Центра коллективного пользования научным оборудованием «Экология, биотехнологии и процессы получения экологически чистых энергоносителей» ФГБОУ ВПО «ПГУ» в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (соглашение № 14.132.21.1331).

A. A. Prokhorova, E. V. Prokhorova

SPRUCE SEEDS MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS VARIABILITY ON THE BASE OF CLONE BANK

Variability of ramets spruce seeds with the use of clone bank is studied with morphometric characteristics: length, width, form of seed, mass of 1000 seeds. Individual and endogenous variability of the characteristics is determined.

Key words: spruce, variability, ramet, size, form and mass of seeds.

ПРОХОРОВА Александра Александровна – инженер ФГУ «Рослесозащита» центра защиты леса Чувашской Республики, аспирант кафедры лесной селекции, недревесных ресурсов и биотехнологии Поволжского государственного технологического университета (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – лесное семеноводство, молекулярная генетика древесных видов. Автор 16 публикаций.

E-mail: a_katavas@rambler.ru

ПРОХОРОВА Елена Валерьевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесной селекции, недревесных ресурсов и биотехнологии Поволжского государственного технологического университета (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – селекция, семеноводство лесных древесных пород. Автор 44 публикаций.

E-mail: ProhorovaEV@volgatech.net

УДК 630*165.6 + 630*232.311.3

Н. Н. Бессчетнова

КОРРЕЛЯЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БАЛАНСА ВОДЫ И СОДЕРЖАНИЯ СУХОГО ВЕЩЕСТВА В ХВОЕ ПЛЮСОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Баланс воды в хвое плюсовых деревьев сосны обыкновенной в значительной степени детерминирован содержанием в ней сухого вещества, что подтверждается высокими значениями коэффициентов корреляции. Различия между плюсовыми деревьями сосны обыкновенной по показателям водопоглощения и водопотери хвои, по содержанию в ней сухого вещества существенны, а их обусловленность может быть признана наследственной.

***Ключевые слова:** сосна обыкновенная, плюсовые деревья, клоны, сухое вещество хвои, баланс воды в хвое.*

Введение. Непрерывное и неистощительное лесопользование выступает практической и теоретической платформой устойчивого управления лесами. Такой подход к организации эксплуатации лесных ресурсов предполагает оперативную реализацию мер своевременного лесовосстановления и лесоразведения. Важнейшим условием их выполнения признается производство достаточного количества высококачественного посадочного материала, в том числе с использованием сеянцев и саженцев, выращенных из улучшенных семян. Их источником служат объекты постоянной лесосеменной базы (ПЛСБ), развитие и совершенствование которой основано на селекционном потенциале плюсовых деревьев основных лесобразующих пород. Ограниченный объем объективных знаний о них, о степени наследственной обусловленности их важнейших характеристик рассматривается как одна из проблем современной лесной селекции. Только располагая информативно емкой базой данных о свойствах и признаках растений, имеющих хозяйственное, адаптивное и идентификационное значение, можно обеспечить планомерное и обоснованное вовлечение лучших особей, выделенных при массовом отборе, как непосредственно в состав создаваемых лесосеменных плантаций (ЛСП), архивов клонов и других объектов единого генетико-селекционного комплекса (ЕГСК), так и для дальнейшего совершенствования в процессе индивидуального отбора. Сведения об их биологии, физиологии, морфологии могут применяться при ранней диагностике продуктивности и репродуктивной активности объектов. Наличие в листовом аппарате воды, режим её поглощения и расхода, зависимость от количества сухого вещества в хвое или листовых пластинках определяют эффективность фотосинтеза растений [1–3]. Особи, обладающие лучшими характеристиками, имеют больше возможностей в достижении высоких темпов роста и развития, в обеспечении стабильно проявляющейся способности оставлять после себя многочисленное конкурентоспособное потомство. Они представляют наибольший интерес в реализации различных селекционных программ.

Цель работы – выявить характер и уровень взаимозависимости между содержанием сухого вещества и показателями водопоглощения и водопотери в хвое плюсовых деревьев сосны обыкновенной, оценить степень их наследственной обусловленности.

Методы и объекты исследования. Сравнительный анализ плюсовых деревьев сосны обыкновенной предусматривал изучение их вегетативного потомства, размещенного на лесосеменных плантациях первого порядка и в архивах клонов, созданных в Нижегородской области. Опытными участками выступали ЛСП № 24, ЛСП № 1, архивы клонов № 1 и № 4 государственного бюджетного учреждения Нижегородской области «Семеновский спецлесхоз» и его Сокольского филиала. Период проведения наблюдений – 2006–2010 гг. [4]. В схеме сбора исходной лесоводственной информации отдельное плюсовое дерево – ортет на опытных участках представлено не менее чем тремя учетными деревьями – раметами. С каждого из них с периферии среднего яруса хорошо освещенного участка кроны одновременно заготавливали по три побега, которые служили источником первичных единиц выборки: навесок из 20 пар нормально развитых однолетних хвоинок, не имевших признаков поражения внешними факторами. Масса навески последовательно определялась на следующих этапах: в момент заготовки; в состоянии полного водонасыщения; многократно с 24-часовым интервалом при учете водопотери в режиме свободного высушивания; после длительного (не менее 4 месяцев) свободного высушивания; после выдерживания в сушильных шкафах в течение 8 часов при температуре 105°C (до стабильных значений). Точность учета – 0,001 г обеспечивалась электронными весами «Acculab – vicon». Условия лабораторной фазы опыта фиксировались и были одинаковыми для всех образцов. Анализировались следующие признаки: Пр-1 – исходная масса хвои в момент её заготовки; Пр-2 – масса полностью водонасыщенной хвои; Пр-3 – масса воздушно-сухой хвои после длительного свободного высушивания; Пр-4 – масса абсолютно сухой хвои; Пр-5 – период критической (50 %) водопотери при свободном высушивании хвои; Пр-6 – первичное количество воды как разность между массой хвои в момент её заготовки и массой абсолютно сухой хвои; Пр-7 – максимальное содержание воды в хвое как разность между массой водонасыщенной хвои и её массой в абсолютно сухом состоянии; Пр-8 – процент полного водонасыщения от массы хвои в абсолютно сухом состоянии; Пр-9 – коэффициент водопоглощения как отношение массы полностью водонасыщенной хвои к массе абсолютно сухой хвои; Пр-10 – исходное водопоглощение как разность массы водонасыщенной хвои и исходной массой хвои в момент её заготовки; Пр-11 – доля исходного водопоглощения как отношение разности между массой водонасыщенной хвои и её массой в исходном состоянии к массе абсолютно сухой хвои. При организации исследований учитывали существующие методические разработки [5–8].

Результаты исследований и их обсуждение. Плюсовые деревья, представленные своими клонами в составе объектов ПЛСБ и ЕГСК, продемонстрировали заметные различия по анализируемым показателям водного режима хвои и содержания в ней сухого вещества. Это зафиксировано на всех опытных участках во все учетные сроки периода наблюдений. Наиболее контрастно различия проявились по продолжительности периода критической водопотери, менее выражены они в отношении массы абсолютно сухой хвои, которая адекватна содержанию сухого вещества. По остальным опытным участкам получены аналогичные сведения.

Изменчивость признаков хвои плюсовых деревьев и соответствующие ей уровни по шкале С.А. Мамаева [9] на ЛСП № 1 составляли: для свежесобранной хвои в воздушно-сухом состоянии $C_v = 25,17$ % (средний уровень); для массы полностью насыщенной водой хвои $C_v = 25,06$ % (средний уровень); для массы абсолютно сухой хвои $C_v = 21,24$ % (средний уровень). Наибольшее варьирование зафиксировано в анализе периода критической потери воды ($C_v = 84,20$ % – очень высокий уровень). Самым стабильным оказался коэффициент водопоглощения ($C_v = 9,07$ % – низкий уровень). Близ-

ким к нему по статистическим оценкам ($C_v = 16,10$ – средний уровень) является процент поглощения воды сухим веществом хвои, показывающий, какое количество воды в граммах приходится на один грамм её сухого вещества.

Установлена сложная картина взаимозависимости характеристик хвои, определяющих содержание в ней сухого вещества, режим водопоглощения и водопотери. Результаты корреляционного анализа представлены в табл. 1.

Анализ связей между разными признаками хвои показал их весьма неоднозначный характер. Вполне объяснимы высокие положительные значения коэффициентов корреляции исходной массы свежезаготовленной хвои (Пр-1) и такими признаками, как масса водонасыщенной хвои (Пр-2): $r \pm m_r = 0,9810 \pm 0,0163$; массой воздушно-сухой хвои после её длительного свободного высушивания (Пр-3): $r \pm m_r = 0,9400 \pm 0,0286$; массой абсолютно сухой хвои (Пр-4): $r \pm m_r = 0,9387 \pm 0,0289$; массой первично поглощенной воды (Пр-6): $r \pm m_r = 0,9730 \pm 0,0194$; максимальным содержанием воды в хвое (Пр-7): $r \pm m_r = 0,9548 \pm 0,0249$. Взаимозависимость перечисленных признаков может быть объяснена влиянием массы хвои, которая определена биологическим режимом её формирования: более крупная хвоя способна поглотить большее количество воды, а также накопить и большее количество абсолютно сухого вещества.

Таблица 1

Корреляционная матрица анализируемых признаков хвои плюсовых деревьев

Признаки	Признаки										
	Пр-1	Пр-2	Пр-3	Пр-4	Пр-5	Пр-6	Пр-7	Пр-8	Пр-9	Пр-10	Пр-11
Пр-1	1,0	0,98	0,94	0,94	0,44	0,97	0,95	0,53	0,53	0,17	-0,07
Пр-2	0,98	1,0	0,94	0,93	0,48	0,96	0,98	0,57	0,57	0,45	0,08
Пр-3	0,94	0,94	1,0	0,99	0,28	0,86	0,86	0,27	0,27	0,34	-0,04
Пр-4	0,94	0,93	0,99	1,0	0,28	0,85	0,85	0,26	0,26	0,34	-0,05
Пр-5	0,44	0,48	0,28	0,28	1,0	0,52	0,56	0,65	0,65	0,38	0,26
Пр-6	0,97	0,96	0,86	0,85	0,52	1,0	0,97	0,67	0,67	0,28	-0,07
Пр-7	0,95	0,98	0,86	0,85	0,56	0,97	1,0	0,71	0,71	0,50	0,15
Пр-8	0,53	0,57	0,27	0,26	0,65	0,67	0,71	1,0	0,99	0,43	0,31
Пр-9	0,53	0,57	0,27	0,26	0,65	0,67	0,71	0,99	1,0	0,43	0,31
Пр-10	0,31	0,45	0,34	0,34	0,38	0,28	0,50	0,43	0,43	1,0	0,89
Пр-11	-0,07	0,08	-0,04	-0,05	0,26	-0,07	0,15	0,31	0,31	0,89	1,0

Масса абсолютно сухой хвои (Пр-4), которая рассматривается нами как показатель содержания в ней сухого вещества, наиболее тесно связана с оценками массы хвои в различном состоянии. Коэффициенты корреляции соответственно составили: с исходной массой хвои в момент её заготовки (Пр-1) – $r \pm m_r = 0,9387 \pm 0,0289$; с массой водонасыщенной хвои (Пр-2) – $r \pm m_r = 0,9342 \pm 0,0299$; с массой воздушно-сухой хвои после её длительного свободного высушивания (Пр-3) – ($r \pm m_r = 0,9916 \pm 0,0108$). Несколько меньшая взаимозависимость отмечена с первичным количеством воды (Пр-6), определяемым как разность между массой хвои в момент её заготовки и массой абсолютно сухой хвои ($r \pm m_r = 0,8549 \pm 0,0435$), и количеством воды в водонасыщенной хвое (Пр-7), которое определяется как разность между массой водонасыщенной хвои и её массой в абсолютно сухом состоянии ($r \pm m_r = 0,8544 \pm 0,0436$). Во всех перечисленных случаях коэффициенты корреляции достоверны: их опытные t-критерии (19,59 – 91,41) значительно превышают критический порог ($t_{05} = 1,96$).

Корреляционные связи периода критической потери воды в хвое (Пр-5) в целом ниже, чем у предыдущего показателя, и во всех случаях достоверны. Наибольшие значения получены при сопоставлении этого признака с различными оценками доли со-

держась в хвое воды. Так, с процентом полного содержания воды (Пр-8) корреляция составила: $r \pm m_r = 0,6547 \pm 0,0634$. Менее тесная связь отмечена во взаимодействии с количеством воды в свежезаготовленной хвое (Пр-6) – $r \pm m_r = 0,5200 \pm 0,0717$ и количеством воды в водонасыщенной хвое (Пр-7) – $r \pm m_r = 0,5621 \pm 0,0694$. Связь того же показателя с оценками массы хвои, находящейся в разном состоянии, еще меньше: исходная (Пр-1) – $r \pm m_r = 0,4443 \pm 0,0752$; насыщенная (Пр-2) – $r \pm m_r = 0,4778 \pm 0,0737$; воздушно-сухая (Пр-3) – $r \pm m_r = 0,2843 \pm 0,0805$. Из полученного материала следует, что продолжительность периода критической водопотери в большей степени зависит от количества находящейся в хвое воды или от количества воды, поглощенной хвоей при её намачивании. Чем больше воды содержит или поглотила хвоя, тем большая продолжительность периода критической водопотери. Зависимость периода критической водопотери от массы хвои как таковой (понимается как масса хвои в состоянии различной степени водонасыщения) менее выражена, по сравнению с зависимостью от количества содержащейся в хвое воды. При этом заметно, что большая зависимость существует только с теми показателями массы хвои, которые связаны с наличием в хвое того или иного количества воды: массой свежезаготовленной хвои и массой водонасыщенной хвои. Масса хвои в сухом состоянии – воздушно-сухой или абсолютно сухой – связана с периодом критической водопотери в минимальной степени – зависимость слабая положительная, хотя и достоверная.

Низкий уровень зависимости периода критической водопотери от массы хвои как таковой означает то, что продолжительный период потери влаги может быть зафиксирован как у относительно тяжелой, так и у сравнительно легкой хвои. В конечном итоге это будет определяться тем, сколько воды смогла поглотить та или иная (по своим параметрам) хвоя: именно это количество и будет теряться. Однако вполне логично ожидать, что более «крупная» хвоя сможет поглотить и большее количество воды, как большее по объему её потенциальное вместилище. В определенной степени это может быть подтверждено наиболее тесной связью периода критической водопотери с процентом полного водонасыщения, что указывает на его преимущественную зависимость от объема воды, поглощенной хвоей. Оценивая величины коэффициентов корреляции периода критической водопотери с остальными признаками, удается выделить четыре группы зафиксированной тесноты связи: 0,65 – 0,66; 0,52 – 0,57; 0,44 – 0,48; 0,281 – 0,285.

Отношение массы поглощенной воды к массе абсолютно сухой хвои (Пр-11) оценивает эффективность поглощения влаги в зависимости от наличия в хвое сухого вещества. Иными словами, оно показывает, зависит ли количество поглощенной хвоей воды от содержания в ней сухого вещества. Если такая зависимость существует, то оценки тесноты связи между указанным показателем и массой абсолютно сухой хвои (Пр-4) должны быть велики. Однако этого не наблюдается, и корреляция между отмеченными признаками очень слабая, отрицательная и недостоверная ($r \pm m_r = -0,0493 \pm 0,0838$; $t_r = 0,59$ при $t_{05} = 1,96$). Это может быть вызвано тем, что количество поглощенной воды зависит, прежде всего, не от массы сухого вещества в хвое, а от емкости водопоглощения её отдельного метамера, которая определяется наличием пустот.

В целом отношение массы поглощенной воды к массе абсолютно сухой хвои (Пр-11) слабо коррелирует со всеми остальными (из числа описанных) признаками. Это свидетельствует о его индифферентности, а следовательно – идентификационной ценности. Только с процентом полного водонасыщения (Пр-8), коэффициентом водонасыщения (Пр-9), а также с исходным водопоглощением (Пр-10) отмечены достоверные положительные корреляции: $r \pm m_r = 0,3111 \pm 0,0798$; $t_r = 3,90$ при $t_{05} = 1,96$ (в первом и

втором случае) и $r \pm m_r = 0,8876 \pm 0,0387$; $t_r = 22,96$ при $t_{05} = 1,96$ (в третьем случае). Такая ситуация объясняется структурой анализируемых признаков. В частности, в формировании отношения массы поглощенной воды к массе абсолютно сухой хвои участвует значение исходного поглощения воды.

Однофакторный дисперсионный анализ подтвердил существенность различий, зафиксированных между сравниваемыми плюсовыми деревьями, представленными прививками, во всех изучавшихся объектах ПЛСБ и ЕГСК по всем рассматриваемым признакам (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Оценки существенности различий между плюсовыми деревьями сосны обыкновенной по характеристикам водообеспеченности хвои на ЛСП № 1

Индекс признака	Среднее значение признака, $M \pm m$	Критерий Фишера		Доля влияния фактора ($h^2 \pm s_{h2}$)				Критерии существенности различий	
				по Плохинскому		по Снедекору			
		$F_{оп}$	F_{05}/F_{01}	h^2	$\pm s_{h2}$	h^2	$\pm s_{h2}$	HCP_{05}	D_{05}
Признак-1	2,83±0,06	8,32	1,45/1,69	0,4935	0,0594	0,4484	0,0646	0,50	0,89
Признак-2	3,03±0,06	8,72	1,45/1,69	0,5053	0,0580	0,4616	0,0631	0,52	0,94
Признак-3	1,42±0,03	6,33	1,45/1,69	0,4258	0,0673	0,3718	0,0736	0,23	0,41
Признак-4	1,32±0,02	6,22	1,45/1,69	0,4215	0,0678	0,3670	0,0742	0,21	0,38
Признак-5	52,62±3,69	13,01	1,45/1,69	0,6038	0,0464	0,5715	0,0502	27,23	49,12
Признак-6	1,51±0,04	9,68	1,45/1,69	0,5314	0,0549	0,4909	0,0597	0,31	0,55
Признак-7	1,72±0,04	10,27	1,45/1,69	0,5462	0,0532	0,5075	0,0577	0,33	0,60
Признак-8	128,89±1,73	11,67	1,45/1,69	0,5777	0,0495	0,5426	0,0536	13,17	23,75
Признак-9	2,29±0,02	11,67	1,45/1,69	0,5777	0,0495	0,5426	0,0536	0,13	0,24
Признак-10	0,21±0,01	5,03	1,45/1,69	0,3709	0,0737	0,3093	0,0809	0,10	0,17
Признак-11	0,16±0,01	4,46	1,45/1,69	0,3435	0,0769	0,2780	0,0846	0,07	0,13

Опытные критерии Фишера (см. табл. 2) всех анализируемых признаков на обследованной лесосеменной плантации превосходят соответствующие критические значения как на 5 %, так и на 1 % уровнях значимости. Например, для массы свежесобранной хвои (Признак-1) $F_{оп} = 8,32$, а для продолжительности периода критической водопотери (Признак-5) $F_{оп} = 13,01$ при $F_{05} = 1,45$ и $F_{01} = 1,69$. Данное обстоятельство позволяет вычислить оценки доли влияния организованных факторов, которыми в рассматриваемом случае выступают различия между собственно плюсовыми деревьями в пределах каждого отдельного участка. В большинстве случаев оно значительно и достоверно. Так, для массы свежезаготовленной хвои при учете в 2008 г. по алгоритму Плохинского $h^2 \pm s_{h2} = 49,35 \pm 5,94$ %; по алгоритму Снедекора оценки несколько ниже $h^2 \pm s_{h2} = 44,84 \pm 6,46$ %. Для продолжительности периода критической водопотери соответствующие показатели составили: по алгоритму Плохинского $h^2 \pm s_{h2} = 60,38 \pm 4,64$ %; по алгоритму Снедекора оценки чуть меньше $h^2 \pm s_{h2} = 57,15 \pm 5,02$ %. Это наибольшее из зафиксированных значений, оно свидетельствует о преобладающем влиянии различий между собственно плюсовыми деревьями на формирование общей дисперсии.

Поскольку в опыте реализован принцип единственного логического различия, что во многом обусловлено методами закладки лесосеменных плантаций, а также одинако-

выми условиями проведения полевого и лабораторных анализов, влияние факторов среды на возникновение дисперсии между градациями дисперсионных комплексов минимизировано. На остальных участках получены аналогичные результаты. В такой ситуации вполне логично рассматривать различия между плюсовыми деревьями, представленными своими клонами в составе объектов ПЛСБ и ЕГСК, по характеристикам водного баланса хвои и наличия в ней сухого вещества как генотипически обусловленные.

Величина наименьшей существенной разности (НСР) и D-критерия Тьюки (см. табл. 2) позволяет установить различия между какими именно клонами каждого из дисперсионных комплексов могут быть отнесены к категории существенных. При этом было установлено, что на всех участках, подвергнутых обследованию, в большинстве случаев парного сопоставления значений различия превышают критический порог для НСР на 5 % уровне значимости и в значительной части выше критического значения D-критерия Тьюки.

Влияние факторов среды, вызывающее возникновение так называемой остаточной дисперсии, оказалось весьма заметным. Его значения колебались в пределах 39,62 – 65,65 % (по Плохинскому) и 42,85 – 72,20 % (по Снедекору). Данные свидетельствуют о значительной зависимости проявлений анализируемых показателей от режима внешних условий, что обусловило их высокую изменчивость в целом, зафиксированную нами. Увеличение вклада неорганизованных факторов в состав общей дисперсии неизбежно уменьшает ту её часть, которая связана с эффектом различий между градациями дисперсионного комплекса – плюсовыми деревьями.

Экологическая предопределенность и сложный характер реакции хвои плюсовых деревьев сосны на высушивание и намачивание обуславливает необходимость оценки эффективности влияния каждого из факторов на формирование дисперсии значений анализируемых признаков. Результаты двухфакторного иерархического дисперсионного анализа представлены в табл. 3.

Материалы табл. 3 позволяют отметить достаточно высокую наследственную обусловленность различий между самими плюсовыми деревьями сосны обыкновенной, размещенными на обследованных объектах. Доля влияния фактора высшей иерархии – различий между плюсовыми деревьями (ортетами) – выше влияния любого из других факторов. При этом на ЛСП № 1 оно составляет: по признаку-1 – 49,35 % ($0,4539 \pm 0,2374$), по признаку-4 – 42,15 % ($0,4215 \pm 0,2712$), по признаку-5 влияние еще выше – 60,38 % ($0,6038 \pm 0,1857$), а по признаку-11 – наименьшее – 34,35 % ($0,3435 \pm 0,3077$). Полученные результаты в полной мере соответствуют итогам однофакторного анализа (см. табл. 2).

Различия между оретами одного ортета оказывают заметно меньшее влияние на формирование общей дисперсии (см. табл. 3). Это вполне объяснимо, поскольку данная группа различий, сформировавшаяся под влиянием фактора низшей иерархии, в нашем случае соответствует несходству особей одного клона. Оно преимущественно обусловлено влиянием неоднородности прививок (факторов среды в широком смысле). Их возникновение также можно рассматривать как одно из проявлений влияния неизбежных микроразностей в условиях среды, что связано с определенным порядком размещения клонов одного плюсового дерева на территории лесосеменной плантации или архива клонов. Величины составили: признак-1 – 18,26 % ($0,1826 \pm 0,2725$); признак-4 – 17,31 % ($0,1731 \pm 0,2756$); признак-5 – 11,28 % ($0,1128 \pm 0,2951$); признак-11 – 20,45 % ($0,2045 \pm 0,2652$).

Собственно случайные различия (остаточная дисперсия), которые в нашем случае рассматриваются как различия, вызванные влиянием факторов среды, не связанных с

Т а б л и ц а 3

Результаты двухфакторного иерархического дисперсионного анализа характеристик водного баланса и содержания сухого вещества хвои плюсовых деревьев сосны обыкновенной на ЛСП № 1

Индекс признака	Источник дисперсии	Критерий Фишера		Доля влияния фактора ($h^2 \pm m_h$)			
		$F_{оп}$	F_{05} / F_{01}	по Плохинскому		по Снедекору	
				h^2	$\pm m_{h2}$	h^2	$\pm m_{h2}$
Признак-1	ортеты	5,766	1,59/ 1,93	0,4935	0,2374	0,4415	0,2618
	раметы	1,692	1,32/ 1,48	0,1826	0,2725	0,1046	0,2985
	остаток	-	-	0,3239	0,6761	0,4539	0,5461
Признак-2	ортеты	6,227	1,59/ 1,93	0,5053	0,2319	0,4550	0,2554
	раметы	1,615	1,32/ 1,48	0,1731	0,2756	0,0927	0,3024
	остаток	-	-	0,3216	0,6784	0,4523	0,5477
Признак-3	ортеты	5,176	1,59/ 1,93	0,4258	0,2692	0,3693	0,2956
	раметы	1,320	1,32/ 1,48	0,1755	0,2748	0,0608	0,3131
	остаток	-	-	0,3988	0,6012	0,5698	0,4302
Признак-4	ортеты	5,195	1,59/ 1,93	0,4215	0,2712	0,3649	0,2977
	раметы	1,281	1,32/ 1,48	0,1731	0,2756	0,0544	0,3152
	остаток	-	-	0,4054	0,5946	0,5807	0,4193
Признак-5	ортеты	11,419	1,59/ 1,93	0,6038	0,1857	0,5687	0,2022
	раметы	1,194	1,32/ 1,48	0,1128	0,2957	0,0262	0,3246
	остаток	-	-	0,2834	0,7166	0,4050	0,5950
Признак-6	ортеты	5,851	1,59/ 1,93	0,5314	0,2197	0,4795	0,2440
	раметы	2,115	1,32/ 1,48	0,1938	0,2687	0,1410	0,2863
	остаток	-	-	0,2749	0,7251	0,3795	0,6205
Признак-7	ортеты	6,600	1,59/ 1,93	0,5462	0,2127	0,4974	0,2356
	раметы	1,911	1,32/ 1,48	0,1766	0,2745	0,1171	0,2943
	остаток	-	-	0,2772	0,7228	0,3855	0,6145
Признак-8	ортеты	5,796	1,59/ 1,93	0,5777	0,1979	0,5237	0,2232
	раметы	3,043	1,32/ 1,48	0,2127	0,2624	0,1930	0,2690
	остаток	-	-	0,2096	0,7904	0,2833	0,7167
Признак-9	ортеты	5,796	1,59/ 1,93	0,5777	0,1979	0,5237	0,2232
	раметы	3,043	1,32/ 1,48	0,2127	0,2624	0,1930	0,2690
	остаток	-	-	0,2096	0,7904	0,2833	0,7167
Признак-10	ортеты	4,098	1,59/ 1,93	0,3709	0,2949	0,3080	0,3244
	раметы	1,328	1,32/ 1,48	0,1931	0,2690	0,0683	0,3106
	остаток	-	-	0,4360	0,5640	0,6237	0,3763
Признак-11	ортеты	3,584	1,59/ 1,93	0,3435	0,3077	0,2773	0,3388
	раметы	1,357	1,32/ 1,48	0,2045	0,2652	0,0769	0,3077
	остаток	-	-	0,4520	0,5480	0,6459	0,3541

особенностями прививки и со спецификой размещения рамет на площади ЛСП или архива клонов, не столь велики. В определенной мере их можно рассматривать как различия в пределах одной особи и соотносить с метамерной изменчивостью. Величины этой доли общей дисперсии в большинстве случаев меньше, чем влияние различий между раметами, и принимают значения от 20,96 (признаки 8 и 9) до 45,20 % (признак 11).

В заключение можно отметить, что оценки водного баланса и содержания сухого вещества в хвое у представителей разных плюсовых деревьев неодинаковы. Взаимное влияние этих показателей различно. Корреляция значений продолжительности периода критической водопотери в большей степени проявляется с величинами, связанными с наличием в хвое воды и в меньшей степени с содержанием в ней сухого вещества. Отношение первично-поглощенной воды к массе абсолютно сухой хвои мало зависит от других параметров. Выявленные между плюсовыми деревьями различия по анализиру-

емым показателям существенны, что подтверждено результатами дисперсионного анализа. Факт их возникновения в условиях выровненного экологического фона, когда эффект воздействия внешних факторов на формирование дисперсии минимизирован, позволяет признать преимущественно генотипическую детерминированность отмеченного разнообразия. Это нашло подтверждение в достаточно высоких оценках доли влияния различий между плюсовыми деревьями. Проявление несходства в пределах вегетативного потомства одного плюсового дерева преимущественно связано с неодинаковыми характеристиками прививок, что неизбежно, если в качестве подвоя использованы сеянцы или саженцы семенного происхождения. Наследственный характер различий признаков, определяющих содержание воды и сухого вещества в хвое плюсовых деревьев, обуславливает возможность выделения из их состава наиболее приспособленных к сложившимся экологическим условиям и перспективных для включения в состав лесосеменных плантаций.

Выводы

1. Изменчивость признаков хвои плюсовых деревьев сосны обыкновенной, определяющих режим водопоглощения и водопотери, содержание сухого вещества и их взаимозависимость, неодинакова. Наиболее вариabельным в масштабах отдельного плюсового дерева является период критической водопотери, а стабильным – коэффициент водопоглощения, представляющий собой отношение массы воды, поступившей в хвою при её намачивании, к массе абсолютно сухой хвои.

2. Показатели способности хвои поглощать и терять воду имеют сложный характер взаимозависимости между собой и с оценками содержания в ней сухого вещества. Теснота связи неодинакова, преимущественно положительная и достоверная.

3. Период критической водопотери в наибольшей степени связан с различными оценками наличия в хвое воды, достигая максимума в варианте с процентом её максимального содержания. Отношение массы поглощенной воды к массе абсолютно сухой хвои индифферентно в отношении большинства изученных признаков и имеет достоверную корреляцию только с процентом полного водонасыщения, коэффициентом водонасыщения и исходным водопоглощением.

4. Различия между плюсовыми деревьями по характеристикам водопоглощения, водопотери и наличию сухого вещества в хвое существенны, что подтверждено результатами дисперсионного анализа. Проявление указанных различий на выровненном экологическом фоне позволяет признать их преимущественно генотипическую обусловленность.

Список литературы

1. Крамер, Пол Д. Физиология древесных растений: Пер. с англ./ Пол Д. Крамер, Теодор Т. Козловский. – М.: Лесн. промышленность, 1983. – 464 с., ил.
2. Либберт, Э. Физиология растений: Пер. с нем. / Э. Либберт. – М.: Мир, 1976. – 582 с.
3. Лир, Х. Физиология древесных растений: Пер. с нем. / Х. Лир, Г. Польстер, Г.-И. Фидлер. – М.: Лесн. промышленность, 1974. – 424 с.
4. Бессчетнова, Н.Н. Водоудерживающая способность хвои плюсовых деревьев сосны обыкновенной / Н.Н. Бессчетнова // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сборник науч. тр. по итогам междунар. науч.-тех. конф. – Брянск: БГИТА, 2007. – Вып. 17. – С. 13 – 16.
5. Практикум по физиологии растений / Н.Н. Третьяков, Т.В. Карнаухова, Л.А. Паничкин и др. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.: ил. – (Учебники и учеб. Пособия для студентов высш. Учеб. Заведений. – Под общей редакцией Н.Н. Третьякова).
6. Котов, М.М. Метод селекционной оценки сосны на ПЛСУ / М.М. Котов // Экспресс-информация «Лесоразведение и лесомелиорация». – М.: ЦБНТИлесхоз, 1981. – Вып. 10. – 20 с.

7. Котов, М.М. Рекомендации по отбору сеянцев сосны для посадки на лесосеменные плантации /М.М. Котов. – Йошкар-Ола: НТО леспрома и лесн. хоз-ва, 1987. – 13 с.

8. Котов, М.М. Отбор сеянцев сосны для лесосеменных плантаций /М.М. Котов // Лесное хозяйство. – 1995. – № 1. – С. 44 – 46.

9. Мамаев, С.А. О проблемах и методах внутривидовой систематики древесных растений. II. Амплитуда изменчивости / С.А. Мамаев // Закономерности формообразования и дифференциации вида у древесных растений: Тр. и-та. экологии раст. и жив. – Свердловск, 1969. – Вып. 64. – С. 3 – 38.

Статья поступила в редакцию 16.03.11.

N. N. Besschetnova

CORRELATION OF WATER BALANCE RATE AND DRY SUBSTANCE CONTENT IN THE NEEDLES OF PLUS TREES OF SCOTCH PINE

Water balance in needles of plus trees of Scotch pine is considerably determined with the content in it of a dry substance, it is proved by high correlation parameters. The difference of plus trees of Scotch pine in water absorption and water loss of needles in the content of a dry substance in it are considerable, their conditionality can be considered as inherited.

Key words: *Scotch pine, plus trees, clones, dry basis of needles, water balance in needles.*

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

E-mail: besschetnova1966@mail.ru

УДК 630*176.322.6

В. И. Терехов, Р. В. Сергеев

ОПЫТ СОДЕЙСТВИЯ ЕСТЕСТВЕННОМУ СЕМЕННОМУ ВОЗОБНОВЛЕНИЮ В БАЙРАЧНЫХ ДУБРАВАХ КУРСКОЙ ОБЛАСТИ

Проведено экспериментальное (путем закладки пробных площадей) сопоставление естественного и искусственного (посадка сеянцев) восстановления байрачных дубрав Курской области. Установлено, что при оптимальном наборе лесовосстановительных мероприятий естественное возобновление древостоев может быть более эффективным по сравнению с посадкой леса. При этом восстановление байрачных дубрав способом содействия естественному семенному возобновлению главной породы целесообразно планировать лишь на площадях, обеспеченных достаточным количеством благонадежного подроста дуба, или же рубку древостоя приурочивать к году его обильного плодоношения. В противном случае возможна смена дуба второстепенными породами (клен остролистный, ясень обыкновенный, осина).

Ключевые слова: байрачные дубравы, искусственное лесовосстановление, естественное лесовосстановление, подрост дуба, плодоношение.

Введение. Изучение природы дубрав и способов их восстановления было начато еще в позапрошлом веке Г.Ф.Морозовым, М.М.Орловым, Г.Н.Высоцким и др. [1-5]. В прошедшем и начале нынешнего столетия опубликован ряд крупных работ, посвященных современному состоянию этого вопроса [6-15]. Большинство авторов считали наиболее рациональным искусственный способ восстановления дубрав – посадка сеянцев/саженцев или посев желудей. Характерно, что до начала XX века большинство лесоводов вообще отрицали возможность семенного возобновления дуба естественным путем при сплошных и постепенных рубках. Многие исследователи, а также работники производства считали, что в результате неупорядоченной технологии происходит полная гибель самосева и подроста дуба на вырубках. Перелом в воззрениях был сделан лесничим Теллермановского лесничества Г.А. Корнаковским [16]. С учетом специфики отношения к свету дубового подроста он разработал оригинальный способ узколесосечной (шириной 25 м) чересполосной рубки, обеспечивающий естественное семенное возобновление дуба. Позднее изучение естественного возобновления дуба в связи с различными способами рубок особенно широко развернулось в Шиповском опытном лесничестве. В результате проведенных исследований Г.Г. Юнаш [17] пришел к выводу о том, что системы рубок сами по себе не обеспечивают возобновления дуба. С другой стороны, при всех способах рубок можно обеспечить естественное возобновление главной породы, но для этого необходимо, чтобы к моменту рубки имелся самосев и подрост в достаточном количестве или чтобы рубка была проведена в семенной год. Непременным условием успеха возобновления дуба ученые и производственники считают своевременный уход за появившимся самосевом.

Таким образом, вопрос о преимуществах искусственных и естественных способов восстановления дубрав до настоящего времени не решен. Для корректного решения данного вопроса необходимо учитывать множество факторов, таких как тип лесорастительных условий, экспозиция и крутизна склона, наличие жизнеспособного подроста, степень плодоношения дуба.

К настоящему времени в Курской области применяют искусственное восстановление байрачных дубрав и содействие их естественному возобновлению. Искусственное восстановление проводится, в зависимости от крутизны склона, в следующих вариантах: посадкой по бороздам; посадкой по полосам; посадкой в площадки; посевом в площадки. Наиболее распространен способ искусственного восстановления посадкой двухлетних сеянцев дуба и сопутствующих пород по бороздам, поскольку большая часть лесокультурного фонда представлена свежими вырубками на склонах крутизной от 8 до 15°.

Восстановление дубрав способом содействия естественному возобновлению сводится к сплошной рубке (в зимний период, лесосеками шириной 25 м) в год обильного семеношения дуба и минерализации почвенного покрова. В последующие годы производится лесокультурный и лесоводственный уход за подростом.

Целью настоящей работы явилось сопоставление естественного и искусственного восстановления байрачных дубрав Курской области.

Территория Курской области расположена на юго-западных склонах Среднерусской возвышенности. Характеризуется густой сетью сложноразветвленных речных долин, оврагов и балок, расчленивших водораздельные поверхности. Густота долинно-балочной сети на большей части местности колеблется от 0,7 до 1,3 км/км², а овражной сети – от 0,1 до 0,4 км/км². Климат Курской области умеренно континентальный. Имеют место неблагоприятные явления: длительный жаркий сухой период летом, периодически повторяющиеся экстремальные морозы зимой (абсолютный максимум температуры воздуха достигает + 41°С, абсолютный минимум -40°С). Отмечаются поздние весенние и ранние осенние заморозки.

Все леса Курской области расположены в лесостепной зоне, относятся к защитным. Преобладающие типы леса – дубравы. Общая площадь байрачных дубрав 115,1 тыс. га – 70 % лесов области. Расчлененность рельефа, неблагоприятные климатические факторы, биологические особенности подроста дуба и конкуренция со стороны нежелательной растительности значительно усложняют восстановление байрачных дубрав на вырубках.

Методика и условия эксперимента. Для оценки искусственного восстановления дубрав анализировали лесокультурные площади на вырубках за последние 10 лет, на склонах различной экспозиции и крутизне соответственно.

Каждая пробная площадь закладывалась на расстоянии не менее 15 – 20 м от квартальной просеки, дороги, стены леса. Описание пробных площадей осуществляли в следующей последовательности: положение на элементе рельефа, окружение исследуемого таксационного выдела, размер пробной площади, древостой, подлесок, подрост, живой напочвенный покров, почва, лесная подстилка, тип лесорастительных условий, тип леса.

Для описания подлеска на пробной площади закладывали по пять учетных площадок размером 5×5 м, располагая их способом конверта, подсчитывали количество кустов и общее количество стволиков подлесочных пород, регистрировали характер распределения подлеска на площади таксационного выдела (групповое, равномерное и т.п.) и его плотность (густой, средней густоты, редкий), рассчитывали среднюю высоту и средний диаметр стволиков каждой подлесочной породы.

Учет подроста проводили на 30 учетных площадках размером 2×2 м, заложенных по диагоналям пробной площади. Исследование подроста производили по видам древесных растений. В пределах вида определяли: среднюю высоту и средний диаметр растений каждой категории подроста, количество на 1 га, характер распределения по таксационному выделу. Для установления влияния древесного полога и подлеска на подрост отмечали степень затенения каждой учетной площадки. При описании естественного семенного возобновления для каждого вида древесных растений указывали категории жизнеспособного подроста, его градации по высоте и характеру размещения по площади [18].

Учет и оценку состояния лесных культур осуществляли глазомерным и выборочно-перечислительным методами; наряду с таксационными показателями учитывали год закладки культур.

При обследовании состояния лесных культур замеры диаметров саженцев и сеянцев производили у шейки корня штангенциркулем, с точностью до 0,01 см; замеры высот – мерной рейкой, с точностью до 0,01 м. Для установления сохранности и приживаемости растений подсчитывали фактическое их количество на лентах длиной, кратной расстоянию между растениями в рядах. Обработывали не менее 10 лент длиной по 90 м. Ленты прокладывали вдоль рядов растений.

Камеральную обработку пробных площадей проводили общепринятыми методами [19]. Исходные данные замеров на пробных площадях обрабатывали методами математической статистики [20]. Достоверность выводов соответствует 95 % доверительному уровню. Основную статистическую обработку материалов пробных площадей производили с использованием пакета анализа данных программы Excel.

Результаты исследований. Для анализа и *искусственного восстановления дубрав* были заложены и проанализированы данные 17 пробных площадей с древостоями разного возраста. Ниже приведены результаты анализа пробной площади № 26, возраст дуба ближе всего подходил по возрасту к анализируемому подросту естественного возобновления (семь лет).

Пробная площадь № 26 заложена в 4 выделе 45 квартала Щигровского лесничества, в средней части склона балки. Крутизна прилегающего склона 5°, экспозиция восточная. Размер пробной площади 0,5 га. Состав древостоя 10 Дн, возраст преобладающей породы 91 год. Полнота древостоя 0,78, запас 238 м³/га. Подлесок густой (14,3 тыс. стволиков/га) из бересклета бородавчатого и бересклета европейского, лещины, бузины красной, размещается куртинами. Естественное возобновление дуба отсутствует. В просветах древесно-кустарникового полога встречаются редкие экземпляры клена остролистного и липы. Общее количество благонадежного подроста данных пород составляет 860 шт./га. Живой напочвенный покров разреженный, приурочен к просветам древесно-кустарникового полога. Представлен снытью обыкновенной, кочедыжником женским, крапивой двудомной, копытнем европейским, фиалкой удивительной, земляничкой лесной. Под пологом древесных и кустарниковых пород живой напочвенный покров отсутствует, тип лесорастительных условий E₂.

В декабре 2003 года проведена сплошная рубка древостоя, в апреле 2004 – посадка лесных культур по бороздам. Почва – выщелоченный чернозем. Посадку лесных культур производили по бороздам двухлетними сеянцами дуба, по схеме смешения Дч – Дч – Дч. Ширина междурядий 3,0 м, расстояние между растениями в рядах 0,7 м.

Обследование лесных культур проводилось в июле 2010 года. Как видно из табл. 1, сохранность и размеры культур близки к стандартным для изучаемой породы. Количество саженцев на единице площади достаточно для образования сомкнутого древостоя.

Живой напочвенный покров густой многоярусный, с преобладанием клевера красного и вейника дубравного (табл. 2). Наибольшие размеры саженцев отмечены на участках, где обеспечен должный лесокультурный уход. В шестилетних культурах высота саженцев дуба достигала 185 см при диаметре стволиков 1,82 см. В этом возрасте конкуренция со стороны травянистой растительности уже не имеет существенного значения, на первый план выходят взаимоотношения с подлесочными породами.

Таблица 1

**Характеристика дуба черешчатого
в лесных культурах на пробной
площади № 26**

Параметр	M± m	σ
Сохранность, %	74,0±5,42	17,1
h, м	1,85±0,06	0,636
d, см	1,82±0,08	0,842

Таблица 2

**Характеристика живого напочвенного
покрова на пробной площади № 26**

Биологический вид	Проективное покрытие, %	АСМ*, кг/га
I ярус		
Клевер красный	57	2220
Вейник дубравный	42	2280
Люцерна серповидная	1	60
II ярус		
Сныть обыкновенная	21	910
Ромашка	4	60
III ярус		
Мятлик дубравный	5	40
Итого:		5620

* АСМ – абсолютно сухая масса.

сохранность в последующие годы роста обычно выше, чем у дуба, что улучшает эти показатели культур в целом. Размеры этих растений также превышают размеры дуба, в результате чего сокращается срок смыкания лесных культур.

Для оценки производственного опыта лесовосстановления байрачных дубрав путем *содействия естественному возобновлению в 2003 году* были заложены три пробные площади в наиболее характерном для данных лесов региона эдатопе E₂, сформированном на смытом выщелоченном черноземе. Обследование производили в августе 2010 года.

Пробная площадь № 1 заложена в 3 выделе 44 квартала Щигровского лесничества, в средней части склона балки. Крутизна склона 15°, экспозиция восточная. Естественное семенное возобновление дуба сформировалось после сплошной рубки в декабре 2003 года (ширина лесосеки 50 м) и минерализации поверхности почвы в целях создания благоприятных условий для прорастания желудей, опавших в предшествующий рубке семенной год. На момент обследования возраст подростка дуба составил 7 лет (табл. 3).

Как следует из табл. 3, количество и размеры подростка дуба близки к стандартным для изучаемой породы. Количество растений на единице площади достаточно для образования сомкнутого древостоя.

К шестилетнему возрасту культур подлесок изрежен в результате лесокультурных уходов, высота его не превышает высоту подлеска в двухлетних культурах (1,5 м), преобладают низкорослые кустарники (свидина красная и терн), высота которых (0,7 – 0,8 м) значительно уступает саженцам дуба. Таким образом, уже в течение первых шести лет, при обеспечении должных лесокультурных уходов, способ посадки семян дуба по бороздам позволяет преодолеть конкуренцию со стороны травянистой и кустарниковой растительности.

Введение в схему смешения сопутствующих дубу древесных и кустарниковых пород позволяет формировать смешанные по составу и сложные по форме древостои. Данное мероприятие себя оправдывает, поскольку естественные байрачные дубравы чаще всего представлены лишь одной древесной породой. В Курской области в состав лесных культур совместно с дубом вводятся клен остролистный, липа мелколистная, ясень обыкновенный, а также кустарниковая порода акация желтая. Приживаемость этих пород и

Таблица 3

Характеристика 7-летнего подростка дуба на пробной площади № 1

Параметр	M± m	σ
N, тыс. шт./га	4190	-
h, м	2,28±0,09	0,85
d, см	2,49±0,13	1,18

Таблица 4

Характеристика подлеска на пробной площади № 1

Биологический вид	Средние:		N, тыс. шт./га	АСМ, кг/га
	h, м	d, см		
Бересклет бородавчатый	2,5	2,8	9,6	10,5
Лещина	4,7	5,0	1,2	7,4
Бузина красная	3,5	6,0	0,4	1,6
Бересклет европейский	1,9	1,7	0,1	0,03
Итого:			11,3	19,53

Таблица 5

Характеристика живого напочвенного покрова в просветах древесно-кустарникового полога на пробной площади № 1

Биологический вид	Проективное покрытие, %	АСМ, кг/га
I ярус		
Сныть обыкновенная	90	223
Кочедыжник женский	5	14
Крапива двудомная	5	14
II ярус		
Копытень европейский		8
Земляника лесная	2	5
Итого:		264

Таблица 6

Характеристика 18-летних семенных растений дуба черешчатого на пробной площади № 2

Параметр	M± m	σ
N, тыс. шт./га	2480	-
h, м	6,51±0,14	1,554
d, см	5,32±0,22	2,236

дуба на 1 га и их размеры приведены в табл. 6.

Как следует из результатов, размеры растений близки к стандартным для изучаемой породы, их количество привело к образованию сомкнутого древостоя.

В просветах древесно-кустарникового полога встречается значительное количество подростка клена остролистного, всходы, самосев и подрост иных пород отсутствуют. Общее количество благонадежного подростка клена составляет 150 тыс. шт./га, в том числе крупного 17,5 тыс. шт./га. По шкале оценки такое возобновление оценивается как хорошее. В перспективе клен остролистный может сформировать второй ярус под пологом дуба.

Подлесок на участке густой из бересклета бородавчатого и бересклета европейского, лещины, бузины красной размещается куртинами (табл. 4). Живой напочвенный покров разреженный, приурочен к просветам древесно-кустарникового полога (табл. 5). Под пологом древесных и кустарниковых пород живой напочвенный покров отсутствует.

Конкуренцию подросту дуба на подобных участках представляет высокий густой подлесок, следовательно, в качестве основных мероприятий по уходу за подростом главной породы необходимо проводить периодическое изреживание кустарниковых растений.

Пробная площадь № 2 заложена во 2 выделе 89 квартала Щигровского лесничества, в средней части склона балки. Крутизна склона 12°, экспозиция южная. В декабре 1991 года на данном участке проведена сплошная рубка древостоя, весной 1992 года проводилась минерализация поверхности почвы в целях создания благоприятных условий для прорастания в семенной 1991 год желудей и роста всходов. В последующие годы производилось изреживание подлеска с целью недопущения затенения подростка главной породы. К моменту обследования (август 2010 года) возраст семенных экземпляров дуба составил 18 лет, на участке сформировался сомкнутый молодняк с формулой состава 10 Дч и запасом стволовой древесины 39 м³/га.

Показатели количества растений

Таблица 7

Характеристика живого напочвенного покрова на пробной площади № 2

Биологический вид	Проективное покрытие, %	АСМ, кг/га
I ярус		
Сныть обыкновенная	35	50
Звездчатка ланцетолистная	25	60
II ярус		
Копытень европейский	3	20
Фиалка удивительная	2	10
Будра плющевидная	3	7
Итого:		147

кустарникового полога, представлен редкими куртинами сныти обыкновенной, звездчатки ланцетолистной, копытеня европейского, фиалки удивительной и будры плющевидной.

Под пологом древесных и кустарниковых пород живой напочвенный покров менее развит (табл. 7).

Результаты, полученные в Щигровском лесничестве на примерах пробных площадей № 1 и № 2, представляют собой наглядную иллюстрацию возможности восстановления семенных древостоев дуба в байрачных условиях путем содействия естественному возобновлению. Главными моментами технологии являются: сплошная узколесосечная рубка в семенной год, минерализация почвы и уход за подростом. Если рубка производится не в семенной год или под пологом древостоя отсутствует подрост главной породы, возможна смена дуба его спутниками, что показано на примере пробной площади № 3.

Таблица 8

Характеристика 19-летних семенных растений ясеня обыкновенного на пробной площади № 3

Параметр	$M \pm m$	σ
N, тыс. шт./га	6080	-
h, м	5,37 \pm 0,12	1,235
d, см	5,26 \pm 0,18	2,628

Пробная площадь № 3 заложена в 12 выделе 75 квартала Щигровского лесничества, в средней части склона балки. Крутизна склона 5°, экспозиция юго-западная. На исследуемом участке, на месте вырубki 1990 года, сформировалось естественное семенное возобновление ясеня. Технология рубки и содействия естественному возобновлению те же, что и на пробных площадях № 1 и № 2. Отличие заключалось в том, что рубка не была приурочена к семенному году дуба, под пологом леса подрост дуба отсутствовал, имелось значительное количество подростя ясеня обыкновенного.

На момент обследования (август 2010 года) на пробной площади отмечен разновозрастный чистый древостой из ясеня обыкновенного (табл. 8) со стволовым запасом 33 м³/га.

Подлесок редкий из лещины обыкновенной (d=2 см; при h=1,9 м; АСМ 50 кг/га), размещается куртинами (густота 1,2 тыс./га) в просветах полога древостоя. Высота подлеска значительно уступает высоте деревьев ясеня.

Естественное возобновление дуба отсутствует. В просветах древесно-кустарникового полога встречаются экземпляры ясеня обыкновенного и клена остролистного (табл. 9). Общее количество благонадежного подростя данных пород составляет 5,6 тыс. шт./га, в том числе крупного 5,2 тыс. шт./га. По шкале оценки такое возобновление оценивается как хорошее.

Живой напочвенный покров приурочен к просветам древесно-кустарникового по-

лога, представлен крайне редкими куртинами сныти обыкновенной. Под пологом древесных и кустарниковых пород живой напочвенный покров отсутствует.

Материалы пробной площади № 3 позволяют судить о том, что несоблюдение хотя бы одного из технологических элементов содействия естественному возобновлению дуба приводит к смене главной породы ее спутниками. На участках, не обеспеченных достаточным количеством подроста дуба или если рубка не приурочена к его семенному году, следует создавать лесные культуры дуба.

Таблица 9

Характеристика естественного возобновления на пробной площади № 3

Порода	Возраст, категория	Средние:		N, тыс. шт./га	АСМ, кг/га
		d см	h, м		
Ясень обыкновенный	1 год, благонадежный	0,3	0,4	0,4	1
Ясень обыкновенный	5 лет, благонадежный	2,0	1,9	4,0	2660
Клен остролистный	8 лет, благонадежный	4,0	4,2	1,2	4516
Итого:				5,6	7177

Выводы. На основании проведенного исследования можно заключить, что при содействии естественному возобновлению размеры растений близки к размерам саженцев, высаженным по полосам, т.е. при искусственном способе создания лесных культур. При оптимальном естественном возобновлении количество растений на единице площади достаточно для образования сомкнутого древостоя. Следовательно, при правильной организации хозяйства в байрачных дубравах восстановление древостоев может осуществляться не только путем создания лесных культур, но и путем содействия естественному возобновлению.

Однако восстановление байрачных дубрав способом содействия естественному семенному возобновлению главной породы в виде сохранения подроста при заготовке древесины целесообразно планировать лишь на площадях, обеспеченных достаточным количеством благонадежного подроста дуба, или же рубку древостоя приурочивать к году обильного семеношения дуба. В противном случае возможна смена дуба второстепенными породами.

Список литературы

1. Морозов, Г.Ф. Избр. труды / Г.Ф. Морозов. – М.: Лесная промышленность, 1970. – Т.1. – 559 с.
2. Михайлов, Н.А. Особенности строения корневых систем порослевого дуба от тонких пней в Брянском лесном массиве / Н.А. Михайлов // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2011. – № 2. – С. 60-65.
3. Орлов, М.М. Дубовые леса Казанского Поволжья / М.М. Орлов // Зап. Ново-Александрийского ин-та с.-х. и лесоводства. – 1897. – Вып.2. – С. 15-45.
4. Соболев, А.Н. О хозяйстве в дубовых лесах Казанской, Симбирской, Херсонской, Харьковской губерний в 1901 году / А.Н. Соболев // Лесной журнал. – 1903. – Вып.4. – С. 839-877.
5. Высоцкий, Г.Н. О дубравах Европейской России и их областях // Лесной журнал. – 1913. – Вып. 1-2. – С. 159-171.
6. Тюрин, А.В. Дубравы водоохранной зоны и способы их восстановления (общий очерк) / А.В. Тюрин // Дубравы СССР. – М.: Гослесбумиздат, 1949. – Т. 1. – С. 5 – 29.
7. Лосицкий, К.Б. Восстановление дубрав / К. Б. Лосицкий. – М.: Сельхозиздат, 1963. – 359 с.
8. Лосицкий, К.Б. Дубравы северной лесостепи и зоны смешанных лесов / К. Б. Лосицкий // Дубравы СССР. – М.;Л.: Гослесбумиздат, 1949. – Т. 2. – 164 с.
9. Лосицкий, К.Б. Дуб / К. Б. Лосицкий. – М.: Лесн. промышленность, 1981. – 101 с.
10. Молчанов, А.А. Научные основы ведения хозяйства в дубравах лесостепи / А.А. Молчанов. – М.: Наука, 1964. – 355 с.
11. Напалков, Н. В. Дубравы Центральной лесостепи и Нижнего Поволжья / Н. В. Напалков. – М.: ВНИИЛХ, 1951. – 218 с.

12. Алентьев, П.Н. Проблемы восстановления и выращивания дубрав / П.Н. Алентьев. – Майкоп: Адыг. отд. Краснодар. кн. изд-ва, 1990. – 256 с.
13. Выводцев, В.Д. Лесовосстановление и лесоразведение в Курской обл.: Автореф. дис.... канд. с.-х. наук. – Воронеж, 1997. – 16 с.
14. Выводцев, В.Д. Состояние дубрав различного происхождения и пути их улучшения в условиях Курской области / В.Д. Выводцев, М.И. Лукьянчикова // Проблемы деградации дубрав и современные системы ведения лесного хозяйства в них: Материалы научно-производственного семинара, 28-30 марта 2007 г., Воронеж / под общ. ред. проф. М.П. Чернышова. – Воронеж: ВГЛТА, 2007. – С. 60 – 64.
15. Енькова, Е.И. Теллермановский лес и его восстановление / Е.И. Енькова. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1976. – 215 с.
16. Корнаковский, Г.А. О возобновлении дубовых насаждений в Теллермановской роще / Г.А. Корнаковский // Лесопромышленный вестник. – 1904. – Вып. 43, 44, 46. – С. 649-707.
17. Юнаш, Г.Г. Семенное возобновление дуба в островных нагорных дубравах центральной лесостепи / Г.Г. Юнаш: Автореф.... канд.с.-х. наук. – Воронеж, 1953. – 23 с.
18. Правила лесовосстановления. Утверждены Приказом МПР России от 16.07.2007 N 183 <http://www.rosleshoz.gov.ru/docs/ministry/27> (дата обращения 10.12.2011).
19. Грошев, Б.И. Лесотаксационный справочник / Б.И. Грошев, С.Г. Синицын, П.И. Морозов – М.: Лесн. промышленность, 1980. – 228 с.
20. Зайцев, Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г.Н. Зайцев. – М.: Наука, 1984. – 424 с.

Статья поступила в редакцию 14.03.12.

Исследования выполнены в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» (государственный контракт № 16.552.11.7050 от 29 июля 2011 г.) с использованием оборудования ЦКП «ЭБЭЭ» ФГБОУ ВПО «ПГТУ».

V. I. Terekhov, R. V. Sergeev

NATURAL SEED REGENERATION IN OAK FORESTS ON THE EXAMPLE OF THE KURSK REGION

Experimental comparison (by means of temporary sample plot) of artificial and natural reafforestation (seedlings planting) of oak forest in the Kursk region is carried out. It is determined that in case of optimal set of forest regeneration activities natural reafforestation can be of higher productivity in comparison with forest planting. At that, oak forest restoration by means of assistance to natural seed regeneration of the main species is reasonable to be planned on the territories with sufficient amount of reliable oak regrowth or growing stock felling time should be in the year of its heavy bearing. If otherwise, oak conversion to secondary species (Norway maple, European ash, asp) may occur.

Key words: oak forest, artificial reafforestation, natural reafforestation, oak regrowth, fruiting.

ТЕРЕХОВ Владимир Иванович – начальник отдела комитета лесного хозяйства Курской области по Щигровскому лесничеству (Россия, Щигры). Область научных интересов – лесоведение, экология, рациональное природопользование. Автор восьми публикаций.

E-mail: leshoz2008@yandex.ru

СЕРГЕЕВ Роман Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры лесной селекции, недревесных ресурсов и биотехнологии Поволжского государственного технологического университета (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – биотехнология, культура растительных клеток. Автор 32 публикаций.

E-mail: rsergeyev@yahoo.com

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

УДК 638.383

О. Н. Бурмистрова, Е. В. Пластинина, М. А. Воронина

ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ И МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД, АРМИРОВАННЫХ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ

Приведена математическая модель, позволяющая рассчитать оптимальную толщину дорожной одежды, армированную геосинтетическими материалами. В результате получено условие равновесия слоя зернистого материала и георешетки на винклеровском основании с шероховатой поверхностью в условиях двухшампового нагружения. Определена функция прогиба армированного слоя.

***Ключевые слова:** математическая модель, лесовозная автомобильная дорога, геосинтетические материалы, дорожная одежда.*

Введение. Обследование состояния сети лесовозных дорог с диагностикой состояния дорожного полотна, мостов и других элементов дороги в Республике Коми никогда не проводилось. В 2005–2007 гг. Государственным учреждением Республики Коми «Территориальный фонд информации по природным ресурсам и охране окружающей среды Республики Коми» была выполнена камеральная обработка результатов космической фотосъемки, изучено и картографировано состояние сети лесовозных дорог, в результате чего было выявлено следующее:

- в настоящий момент в основном эксплуатируются грунтовые лесовозные дороги, оставшиеся от лесозаготовительных предприятий советского периода;
- лесозаготовки носят ярко выраженный сезонный характер, а летняя вывозка леса в значительной мере зависит от погодных условий, влияющих на состояние грунтовых лесовозных дорог;
- лесной фонд вблизи дорог круглогодичного действия и периодически действующих летних лесовозных дорог в значительной степени истощён рубками прошлых лет [1].

Цель работы – разработка усовершенствованных дорожно-строительных материалов [2] на основе использования надежных и экономичных конструктивно-технологических решений для развития сети автомобильных дорог Республики Коми.

Специфика применения дорожно-строительных материалов требует дифференцированной регламентации комплекса свойств, определяемых по противоречащим друг другу, несогласованным между собою методикам и параметрам, изменяющимся в процессе эксплуатации. Например, конструкции дорожных одежд лесовозных автомобильных до-

рог назначаются, главным образом, из условий обеспечения проезда транспортных средств [3], в то время как при проектировании необходимо установить минимальную требуемую толщину дорожной одежды для ограничения глубины развития колеи из условия допустимой проходимости расчетных автомобилей. В связи с этим расчетная схема дорожных одежд должна учитывать возможность накопления остаточных деформаций в подстилающем грунте основания насыпного слоя.

Решаемые **задачи** заключались в исследовании условия равновесия слоя зернистого материала и георешетки на винклеровском (упругом) основании с шероховатой поверхностью в условиях двухштампового нагружения и определения функции прогиба армированного слоя с наличием георешетки.

Экспериментальные исследования дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог, армированных геосинтетическими материалами, позволили выявить схемы деформирования конструкций при назначении минимально необходимой толщины насыпного слоя из условия проходимости, приводящих к большой колее (рис. 1, 2).

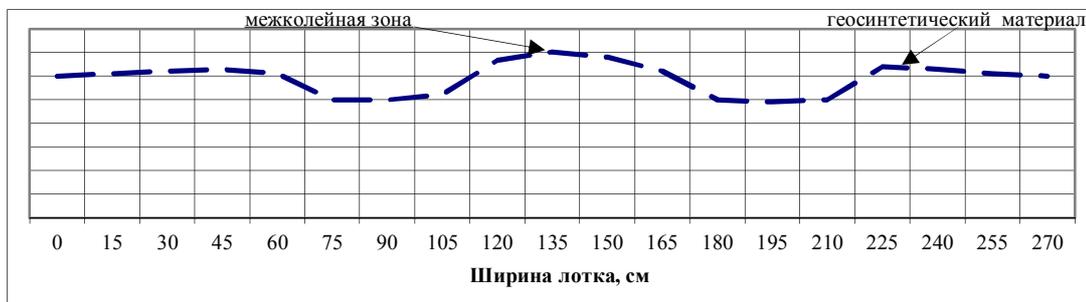


Рис. 1. Схема деформирования армированной дорожной одежды

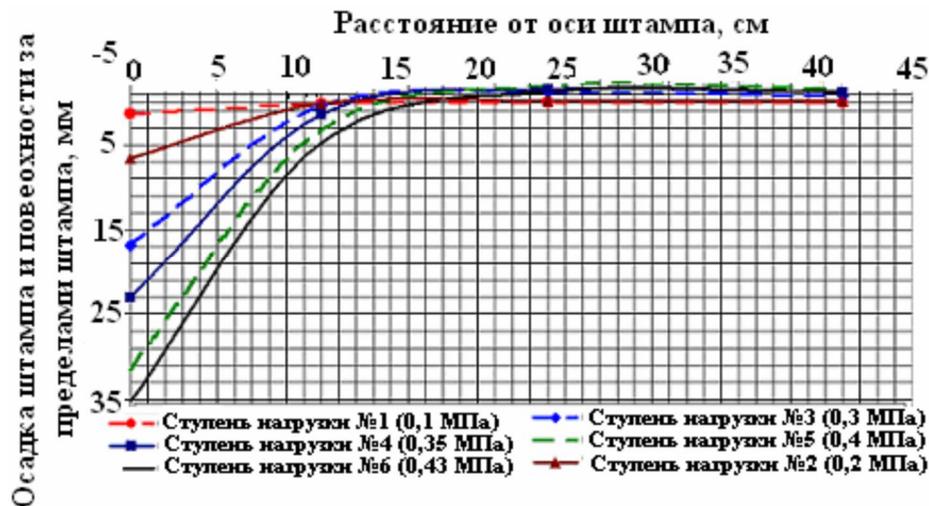


Рис.2. Схема деформирования геосинтетического материала за пределами штампа по результатам экспериментальных исследований

Эксперименты показали, что конструкции, работающие по схемам одноштампового и двухштампового нагружения, существенно отличаются.

При одноштамповой схеме нагружения армированные конструкции не достигают предельного состояния из условия прочности даже при многократных проездах транспортных средств, хотя несущая способность составляет всего 340 кПа. Это объясняется тем, что благодаря георешетке в работу включается дополнительная площадь основа-

периода, распределительная способность грунта невелика, и поэтому модель Винклера наиболее точно отражает деформации грунта. Модель линейно-деформируемого полупространства может быть использована при благоприятных грунтовых условиях в III, IV и V дорожно-климатических зонах.

Предпосылки математической модели:

1) георешетка представлена механической системой, состоящей из n продольных и m поперечных упругих стержней, лежащих на шероховатой упругой поверхности и растягиваемых силой T , приложенной со стороны штампа. Соединение стержней шарнирное без трения;

2) до нагружения штампом с силой T стержни занимают горизонтальное положение. Длина стержней до деформации равна l_0 . Коэффициент трения скольжения стержней о шероховатую поверхность равен f . Параметр относительной жесткости стержней равен $c = E_{cm}F/l_0$, где E_{cm} – модуль упругости геосинтетического материала, F – площадь поперечного сечения стержня. Упругая поверхность под георешеткой моделируется N пружинами с коэффициентами жесткости k , а упругая поверхность под штампом имеет коэффициент жесткости (постели) K_{II} ;

3) допускается, что шарниры A_1, A_2, \dots, A_n при нагружении перемещаются только по вертикали. Тогда число степеней свободы рассматриваемой механической системы равно числу стержней;

4) рассматриваемая задача при двухштамповой схеме нагружения является симметричной, поэтому она сводится к одноштамповому нагружению;

5) в качестве обобщенных координат принимаются углы $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, которые образуют стержни с осью x после нагружения системы силой T .

$$q_1 = \alpha_1, q_2 = \alpha_2, \dots, q_s = \alpha_n. \quad (1)$$

Для определения положения равновесия механической системы после нагружения силой T воспользуемся принципом возможных перемещений в обобщенных силах. Для этого следует составить выражение возможной работы и приравнять ее к нулю.

$$Q_1 \cdot \delta q_1 + Q_2 \cdot \delta q_2 + \dots + Q_s \cdot \delta q_n = 0, \quad (2)$$

где Q_1, Q_2, \dots, Q_n – обобщенные силы, соответствующие выбранным обобщенным координатам; $\delta q_1, \delta q_2, \dots, \delta q_n$ – вариации обобщенных координат.

Поскольку вариации обобщенных координат произвольны и независимы друг от друга, то равенство (2) выполняется при условии:

$$Q_1 = 0, Q_2 = 0, \dots, Q_n = 0. \quad (3)$$

Выразив каждую из обобщенных сил Q_j через обобщенные координаты $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, получим систему N нелинейных алгебраических уравнений:

$$\left. \begin{aligned} Q_1(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) &= 0 \\ Q_2(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) &= 0 \\ Q_n(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

Таким образом, задача заключается в нахождении обобщенных сил, как коэффициентов при вариации обобщенных координат в выражении возможной работы и решении системы уравнений (4).

К каждому из шарниров A_1, A_2, \dots, A_n (рис. 3) приложены силы: F_1, F_2, \dots, F_n со стороны растянутых стержней, силы упругости $F_{y1}, F_{y2}, \dots, F_{yn}$, силы трения $F_{mp1}, F_{mp2}, \dots, F_{mpn}$. Кроме того, будет приложена сила упругости грунта $F_n = k_n \cdot y_n$. К участку сетки под штампом приложена сила T .

Силы, растягивающие стержни, равны: $F_1 = c \cdot \lambda_1$, $F_2 = c \cdot \lambda_2$, ..., $F_n = c \cdot \lambda_n$, где $\lambda_1 = l_1 - l_0$; $\lambda_2 = l_2 - l_0$, ..., $\lambda_n = l_n - l_0$ – удлинения стержней; l_1, l_2, \dots, l_n – длина стержней после деформации.

Силы упругости пружин равны: $F_{y1} = k \cdot y_1$, $F_{y2} = k \cdot y_2$, ..., $F_{yn} = k \cdot y_n$, где y_1, y_2, \dots, y_n – ординаты точек A_1, A_2, \dots, A_n , равные удлинениям пружин.

Силы трения скольжения определяются по закону Кулона: $F_{mp1} = f \cdot F_{y1} \cdot \cos \alpha_1$; $F_{mp2} = f \cdot F_{y2} \cdot \cos \alpha_2$, ..., $F_{mpn} = f \cdot F_{yn} \cdot \cos \alpha_n$.

Реакция грунта под штампом $F_n = k_n \cdot y_n$.

Выразим координаты точек приложения сил A_1, A_2, \dots, A_n через обобщенные координаты:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= l_0; y_1 = l_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 \\ x_2 &= 2 \cdot l_0; y_2 = l_0 \cdot (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2) \\ x_n &= n \cdot l_0; y_n = l_0 \cdot (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \dots + \operatorname{tg} \alpha_{n-1}) \end{aligned} \right\}. \quad (5)$$

Найдем удлинение стержней:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1 &= l_0 \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_1} - l_0 \\ \lambda_2 &= l_0 \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_2} - l_0 \\ \lambda_n &= l_0 \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_n} - l_0 \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

Тогда силы, растягивающие стержни, будут равны:

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= cl_0 \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_1} - 1 \right) = cl_0 \left(\frac{1}{\cos \alpha_1} - 1 \right) \\ F_2 &= cl_0 \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_2} - 1 \right) = cl_0 \left(\frac{1}{\cos \alpha_2} - 1 \right) \\ F_n &= cl_0 \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_n} - 1 \right) = cl_0 \left(\frac{1}{\cos \alpha_n} - 1 \right) \end{aligned} \right\}. \quad (7)$$

Определим силы упругости пружины:

$$\left. \begin{aligned} F_{y1} &= kl_0 \operatorname{tg} \alpha_1 \\ F_{y2} &= kl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2) \\ F_{yn} &= kl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \dots + \operatorname{tg} \alpha_n) \end{aligned} \right\}. \quad (8)$$

Отсюда силы трения скольжения:

$$\left. \begin{aligned} F_{mp1} &= fkl_0 \operatorname{tg} \alpha_1 \cos \alpha_1 \\ F_{mp2} &= fkl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2) \cos \alpha_2 \\ F_{mpn} &= fkl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \dots + \operatorname{tg} \alpha_n) \cos \alpha_n \end{aligned} \right\}. \quad (9)$$

Сообщим рассматриваемой механической системе возможные перемещения $\delta \alpha_1$, $\delta \alpha_2, \dots, \delta \alpha_n$, вычислим возможную работу всех приложенных к ней сил и приравняем её к нулю

$$T\delta y_n - F_n\delta y_n - F_{y_1}\delta y_1 - F_{y_2}\delta y_2 - \dots - F_{y_n}\delta y_n - \dots - F_1\delta\lambda_1 - F_2\delta\lambda_2 - \dots - F_n\delta\lambda_n - F_{mp1} \cdot \cos \alpha_1 \cdot \delta x_1 - F_{mp2} \cdot \cos \alpha_2 \cdot \delta x_2 - \dots - F_{mpn} \cdot \cos \alpha_n \cdot \delta x_n - F_{mp1} \cdot \sin \alpha_1 \cdot \delta y_1 - F_{mp2} \cdot \sin \alpha_2 \cdot \delta y_2 - \dots - F_{mpn} \cdot \sin \alpha_n \cdot \delta y_n = 0$$

$$\left. \begin{aligned} \delta x_1 &= \frac{dx_1}{d\alpha_1} \delta\alpha_1 = 0 \\ \delta y_1 &= \frac{dy_1}{d\alpha_1} \delta\alpha_1 = l_0 \frac{\delta\alpha_1}{\cos^2 \alpha_1} \\ \delta x_2 &= \frac{dx_1}{d\alpha_1} \delta\alpha_1 + \frac{dx_2}{d\alpha_2} \delta\alpha_2 = 0 \\ \delta y_2 &= \frac{dy_1}{d\alpha_1} \delta\alpha_1 + \frac{dy_2}{d\alpha_2} \delta\alpha_2 = l_0 \frac{\delta\alpha_1}{\cos^2 \alpha_1} + l_0 \frac{\delta\alpha_2}{\cos^2 \alpha_2} \\ \delta x_n &= 0 \\ \delta y_n &= l_0 \left(\frac{\delta\alpha_1}{\cos^2 \alpha_1} + \frac{\delta\alpha_2}{\cos^2 \alpha_2} + \dots + \frac{\delta\alpha_n}{\cos^2 \alpha_n} \right) \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Найдем вариации удлинения стержней:

$$\left. \begin{aligned} \delta\lambda_1 &= \frac{d\lambda_1}{d\alpha_1} \delta\alpha_1 = l_0 \frac{tg\alpha_1 \delta\alpha_1}{\sqrt{1+tg^2\alpha_1} \cos^2 \alpha_1} = l_0 \frac{\sin \alpha_1}{\cos^2 \alpha_1} \delta\alpha_1 \\ \delta\lambda_2 &= \frac{d\lambda_2}{d\alpha_2} \delta\alpha_2 = l_0 \frac{tg\alpha_2 \delta\alpha_2}{\sqrt{1+tg^2\alpha_2} \cos^2 \alpha_2} = l_0 \frac{\sin \alpha_2}{\cos^2 \alpha_2} \delta\alpha_2 \\ \delta\lambda_n &= \frac{d\lambda_n}{d\alpha_n} \delta\alpha_n = l_0 \frac{tg\alpha_n \delta\alpha_n}{\sqrt{1+tg^2\alpha_n} \cos^2 \alpha_n} = l_0 \frac{\sin \alpha_n}{\cos^2 \alpha_n} \delta\alpha_n \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Значения сил (7) – (9) и вариаций (11) – (12) подставим в выражение (10).

Приравняв к нулю коэффициенты при $\delta\alpha_1, \delta\alpha_2, \dots, \delta\alpha_n$, получим n систему нелинейных трансцендентных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} T - kl_0 tg\alpha_1 - kl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2) - \dots - kl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) - K_n l_0 \times \\ \times (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) - cl_0 (\sqrt{1+tg^2\alpha_1} - 1) \sin \alpha_1 - fkl_0 tg\alpha_1 \cos \alpha_1 \sin \alpha_1 - \\ fkl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2) \cos \alpha_2 \sin \alpha_2 - \dots - fkl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) \cos \alpha_n \sin \alpha_n = 0 \\ T - kl_0 tg\alpha_1 - kl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2) - \dots - kl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) - K_n l_0 \times \\ \times (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) - cl_0 (\sqrt{1+tg^2\alpha_1} - 1) \sin \alpha_2 - fkl_0 tg\alpha_1 \cos \alpha_1 \sin \alpha_1 - \\ fkl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2) \cos \alpha_2 \sin \alpha_2 - \dots - fkl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) \cos \alpha_n \sin \alpha_n = 0 \\ T - kl_0 tg\alpha_1 - kl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2) - \dots - kl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) - \\ - K_n l_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) - cl_0 (\sqrt{1+tg^2\alpha_1} - 1) \sin \alpha_n - \\ - fkl_0 tg\alpha_1 \cos \alpha_n \sin \alpha_n - fkl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2) \cos \alpha_n \sin \alpha_n - \dots - \\ - \dots - fkl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) \cos \alpha_n \sin \alpha_n = 0 \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Решая систему уравнений (13) численным методом (методом Ньютона) при заданных значениях T, l_0, c, k, K_n , найдем значение углов $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, определяющих положение равновесия системы. Зная функцию прогиба, можно рассчитать оптимальную толщину дорожной одежды, удовлетворяющей требуемым условиям.

Выводы. Рассмотрено условие равновесия слоя зернистого материала и георешетки на винклеровском (упругом) основании с шероховатой поверхностью в условиях двухштампового нагружения. Определена функция прогиба армированного слоя (положения равновесия). Георешетки придают заполнителю так называемое кажущееся сцепление порядка 150 КПа, обеспечивая дополнительную прочность при сдвиге, по сравнению с природной.

Список литературы

1. Генеральная схема развития сети лесных дорог Республики Коми: проект правительства Республики Коми. Сыктывкар, 2008, 48 с.: http://burd-a-komi.blogspot.com/2008/04/blog-post_2890.html (дата обращения: 19.05.11).
2. *Леонович И.И.* Использование геосинтетиков в дорожном строительстве / И.И. Леонович. – Строительство. – 2003. – № 1-2. – С. 285-294.
3. *Фомин, А. П.* Повышение качества земляного полотна путем его армирования / А. П. Фомин, В. Г. Буданов, В. И. Пушкин // Совершенствование организации и технологии ремонта и содержания автомобильных дорог: Сб. науч. тр. – М.: Гипродорнии, 1979. – Вып. 26. – 119 с.
4. *Клепиков, С. Н.* Расчет конструкций на упругом основании / С. Н. Клепиков. – Киев: Будівельник, 1967. – 185 с.

Статья поступила в редакцию 20.07.11.

O. N. Burmistrova, E. V. Plastinina, M. A. Voronina

BASIS OF DESIGN AND MATHEMATICAL MODELS OF FLEXIBLE PAVEMENT, REINFORCED WITH GEOSYNTHETICS

A mathematical model which allows to calculate an optimum thickness of pavement, reinforced with geosynthetics, is offered. As a result, balance condition of a layer of particulate material and geoweb on Winkler foundation with scored surface in conditions of dvushtampovy load is obtained. A function of deflection of stiffened lamina is detected.

Key words: *mathematical model, toting road, geosynthetics, pavement.*

БУРМИСТРОВА Ольга Николаевна – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии и машин лесозаготовок и прикладной геодезии Ухтинского государственного технического университета (Россия, Ухта). Область научных интересов – технология и машины лесозаготовок, строительство лесных дорог. Автор 180 публикаций.

E-mail: Oburmistrova@ugtu.net

ПЛАСТИНИНА Екатерина Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры высшей математики Ухтинского государственного технического университета (Россия, Ухта). Область научных интересов – математическое моделирование. Автор 32 публикаций.

E-mail: eplastinina@ugtu.net

ВОРОНИНА Марина Александровна – аспирант кафедры технологии и машин лесозаготовок и прикладной геодезии Ухтинского государственного технического университета (Россия, Ухта). Область научных интересов – технология и машины лесозаготовок, строительство лесных дорог. Автор восьми публикаций.

E-mail: mvoronina@ugtu.net

630*332.3, 630*375.4, 620.173

*О. Н. Галактионов, А. В. Кузнецов***УПРУГИЕ СВОЙСТВА МАССИВОВ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ**

Приведены результаты измерения модуля упругости слоя лесосечных отходов. Получены зависимости модуля упругости слоя лесосечных отходов от вертикальной нагрузки, площади контакта движителя и опоры. Результаты исследований могут использоваться при планировании работ по укреплению трелевочных волоков.

Ключевые слова: лесосечные отходы, модуль упругости, лесозаготовительные машины, рейсовая нагрузка.

Введение. Одно из перспективных и широко реализуемых направлений использования лесосечных отходов лесозаготовок на лесосеке – это применение их в качестве строительного материала, обеспечивающего стабилизацию несущей способности волоков [1, 2]. Это направление использования лесосечных отходов в последние два десятилетия актуально в связи с активным внедрением передовых технологий лесозаготовок на основе использования лесных машин с колесным движителем.

Размерные характеристики лесосечных отходов определялись в работах [3, 4], поведение лесосечных отходов в условиях нагружения исследовано в работах [5, 6].

В работе [7] исследовалось влияние слоя лесосечных отходов на уровень напряжений, возникающих в грунтовом массиве. Отмечается необходимость использования лесосечных отходов для укрепления волоков.

Результаты аналогичного по направленности исследования приведены в работе [8], где изучались возможности использования отходов лесозаготовок при строительстве временных автомобильных дорог. Изучалось взаимодействие слоев дорожных одежд, одним из которых был слой отходов лесозаготовок, при этом прямого определения модуля упругости слоя отходов лесозаготовок не проводилось.

В работах [9–11] оценивается общее экологическое воздействие лесозаготовительных машин на грунт и состояние почв в целом, также отмечается заметное снижение ущерба при использовании лесосечных отходов.

Последствия полного удаления лесосечных отходов путем оценки содержания биологически ценных веществ в почве изучались в работе [12], в целом влияние оставления лесосечных отходов положительно, но отмечается интенсивное поступление органического вещества в первые годы после рубок за счет травянистой растительности.

Обширные данные по результатам движения самоходных машин приведены в работе [13], где грунты рассмотрены как многокомпонентные системы.

Лесосечные отходы существенно отличаются от исследованных случаев следующими особенностями:

- хаотичным расположением элементов, составляющих массу лесосечных отходов;
- большим разбросом размеров – длин и диаметров;
- одновременным действием напряжений изгиба и сжатия поперек волокон;
- расположением лесосечных отходов на упругом основании;
- неправильной формой лесосечных отходов.

Таким образом, необходимым представляется изучение свойств массива лесосечных отходов в целом.

Ранее в лабораторных условиях проводились испытания слоя лесосечных отходов с укладкой их на две опоры [14]. При этом нагрузка прикладывалась в средней части пакета и фиксировалась стрела прогиба. Результаты обработки показали соответствие результатов модулю упругости стволовой древесины.

В реальных условиях отходы лесозаготовок располагаются непосредственно на грунте, и характер взаимодействия нагрузки и слоя лесосечных отходов меняется. Для точного определения параметров движения лесозаготовительных машин по лесосечным отходам лесозаготовок необходимо знать их характеристики прочности.

Цель работы состоит в определении прочностных характеристик слоя лесосечных отходов в условиях изменяющихся условий приложения нагрузки. Характеристики взаимодействия должны позволять аналитически описывать деформацию в условиях реальной эксплуатации.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели необходимо разработать методику проведения измерения деформации, расчета модуля упругости, получить устойчивое поведение слоя лесосечных отходов под нагрузкой, обработать полученные данные и построить систему уравнений, описывающую поведение слоя лесосечных отходов в широком диапазоне условий.

Техника эксперимента и методика обработки. *Методика проведения натуральных измерений.* Необходимо обеспечить состояние лесосечных отходов, близкое к реальному на волоках. Площадка для проведения испытаний расположена непосредственно на лесосеке. Готовятся грузы, представляющие собой мешки с песком, взвешиваются, нумеруются (рекомендуемый вес единичного груза 20 кг). Для получения близких значений деформации для последовательных циклов нагружения рекомендуется использовать максимально возможный суммарный вес грузов, что позволяет довести нагружение до предельного состояния достаточно быстро и не учитывать релаксационные явления.

Лесосечные отходы формируют в кучу, фиксируют ее размеры: два перпендикулярных диаметра и высота. По возможности отходы взвешиваются для уточнения коэффициента полндревесности.

При формировании слоев лесосечных отходов следует избегать ориентированного расположения материалов; если же лесосечные отходы уже собраны, предлагается использовать их в сложенном состоянии, проводя контрольные замеры с переформированием кучи. При измерении готовых слоев лесосечных отходов необходимо точно фиксировать контакт центральной рейки с грунтом, при возможности контролировать высоту измерением по наружным рейкам. По краям кучи устанавливаются стойки, на которых на определенной высоте (высота установки зависит от высоты объекта измерения) располагается контрольная рейка, относительно которой измеряется деформация.

Возможен вариант (более эффективный) с установкой центрального мерного стержня, в этом случае при формировании кучи необходимо иметь твердое основание (низко срезанный пень, доска и т. п.). На вершину сформированного образца укладывают жесткую опору известной площади, относительно которой измеряют деформацию. Затем на вершину кучи последовательно добавляют грузы, одновременно фиксируя высоту деформированной кучи лесосечных отходов. После того как деформация перестанет существенно увеличиваться (изменение составляет не более 1 см), измерение заканчивают, грузы снимают, кучу перекладывают, и испытания производят еще раз.

По окончании нагружения и снятия нагрузки фиксируется остаточная деформация слоя лесосечных отходов. Полученные результаты сводятся в таблицу. При необходимости делают пометки о характерных особенностях исследуемого слоя лесосечных отходов – преобладание какой-либо породы, большое количество крупномерных материалов, преобладание сухостойного и детритного материала в лесосечных отходах.

Определение необходимого объема выборки. Из-за существенной неоднородности слоя лесосечных отходов важно определение минимального числа реализаций эксперимента, оценка которого получена по предварительной серии экспериментов.

Максимальный коэффициент вариации составил $v = 56,47\%$, необходимое число измерений при 95 % достоверности $N = 14$. Проведенного числа измерений достаточно для достоверной оценки модуля упругости отходов лесозаготовок.

Определение закона распределения полученных выборок. Первоначальное предположение о нормальном характере распределения деформации слоя лесосечных отходов не подтвердилось, поэтому на втором этапе выборка проверена на соответствие логнормальному закону распределения. Результаты проверки (значения соответствующих критериев) и выводы приведены в табл. 1, а вид распределения – на рис. 1.

Установлено, что полученные выборки соответствуют логнормальному распределению.

Таблица 1

Проверка соответствия выборок логнормальному закону распределения

Основные показатели	Статистические характеристики выборки		
	1	2	3
Величина критерия χ^2	25,18	11,34	12,39
Максимальное значение χ^2 в интервале	6,13	3,74	3,83
p-значение	0,00031	0,078	0,054
Уровень доверия, %	99	90	90
Вывод	Соответствует	Соответствует	Соответствует
Среднее значение выборки	15,44	20,81	23,79
Стандартное отклонение	10,64	12,85	12,06

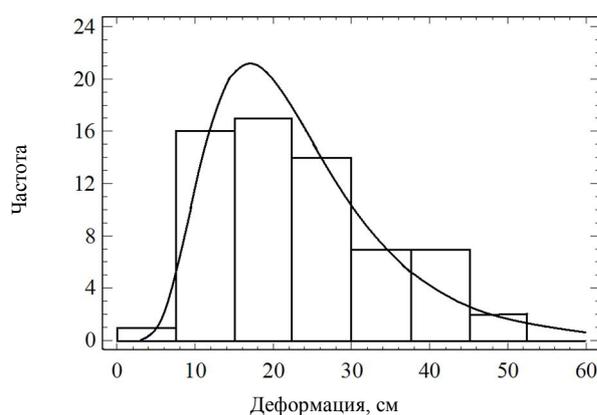


Рис. 1. Гистограмма и подобранное распределение для первой выборки

Обработка данных и построение регрессионных зависимостей. Целью эксперимента является получение значения модуля упругости отходов лесозаготовок, расположенных на волокнах. В процессе исследования производится только сжатие экспериментальных образцов, поэтому можем воспользоваться общей формулировкой закона Гука

для определения модуля упругости:

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (1)$$

где ε – относительная деформация; E – модуль упругости, Па; σ – напряжение, Па.

Относительная деформация составит:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}, \quad (2)$$

где Δl – деформация при приложении нагрузки, м; l – длина образца до приложения нагрузки, Па.

$$\sigma = \frac{F}{S}, \quad (3)$$

где F – деформирующая сила, Н; S – площадь сечения образца, м².

Таким образом, для определения модуля упругости отходов лесозаготовок можем использовать следующее выражение:

$$E = \frac{Fl}{S\Delta l}. \quad (4)$$

Площадь среднего сечения слоя лесосечных отходов определяем на основании измерения двух перпендикулярных диаметров.

Часть результатов по определению модуля упругости дана в табл. 2. На рис. 2 приведены графики, описывающие изменение модуля деформации в зависимости от нагрузки для нескольких произвольных точек.

Основное отличие деформирования отходов лесозаготовок состоит в том, что даже при малых нагрузках деформация составляет значительные величины (в среднем 0,18, минимальное – 0,12), выходя за рамки линейного участка диаграммы нагружения. Следовательно, необходимо искать регрессионное выражение, описывающее изменение модуля упругости при повышении нагрузки. Кроме того, следует определить величину деформации слоя отходов лесозаготовок в зависимости от нагрузки и первоначальной толщины слоя отходов лесозаготовок.

Таблица 2

Значения модуля упругости отходов лесозаготовок

Высота, м	Нагрузка, Н			Относительная деформация			Площадь, м ²	Модуль упругости, кПа		
	выборка			выборка				выборка		
	1	2	3	1	2	3		1	2	3
0,42	800	1400	2200	0,21	0,29	0,43	1,54	2,12	3,29	3,26
0,60	800	1400	2200	0,25	0,42	0,45	1,54	1,82	2,26	3,11
1,30	800	1400	2200	0,12	0,19	0,27	1,54	3,94	4,90	5,19
0,80	800	1400	2200	0,13	0,25	0,31	1,54	3,64	3,77	4,47
0,77	800	1400	2200	0,48	0,57	0,61	1,13	1,29	2,24	3,12
0,80	800	1400	2200	0,21	0,29	0,31	1,13	2,94	4,46	6,09
1,10	800	1400	2200	0,23	0,32	0,36	1,13	2,72	4,03	5,23
1,20	800	1400	2200	0,25	0,33	0,40	1,13	2,48	3,85	4,76
1,00	800	1400	2200	0,20	0,27	0,35	5,72	6,12	0,94	1,07
1,15	800	1400	2200	0,04	0,06	0,07	5,72	2,81	4,16	5,40
Среднее	800	1400	2200	0,21	0,29	0,33	1,85	3,21	4,35	4,94

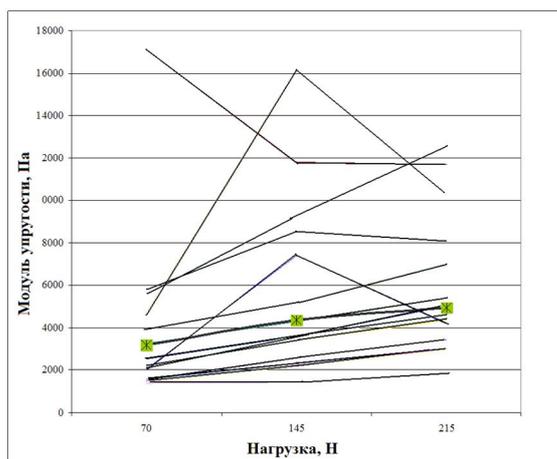


Рис. 2. Графики изменения модуля упругости для различных образцов (квадратами отмечены усредненные данные)

Проверка значимости различия между выборками. Эксперимент проведен на большом материале в различных лесосеках. По данным графиков и таблиц видно, что области данных перекрываются, поэтому необходимо убедиться в том, что между группами нет существенной разницы.

Проверка, проведенная на основании критерия Фишера (табл. 3) и множественного рангового теста (табл. 4), показала, что F -критерий, отношение межгрупповой дисперсии к внутригрупповой равно 12,43, что при p -значении менее 0,01 показывает статистически значимую разницу дисперсий выборки с уровнем доверия 99,0 %.

Таблица 3

Анализ дисперсий величины деформации

Источник дисперсии	Сумма квадратов	Степень свободы	Средний квадрат	F -критерий	p -значение
Между группами	2339,04	2	1169,52	12,43	0,00
Внутри группы	17780,6	189	94,08		
Общий	20119,6	191			

Множественный ранговый тест позволяет оценить различие между каждой парой средних выборок (табл. 4).

Таблица 4

Результаты проверки значимости разницы выборок

Выборка	Объем	Среднее значение	Однородные группы
Выборка 1	64	15,11	X
Выборка 2	64	20,364	X
Выборка 3	64	23,58	X
Контраст		разница	\pm пределы
Выборка 1 – Выборка 2		*-5,25	2,84
Выборка 1 – Выборка 3		*-8,47	2,84
Выборка 2 – Выборка 3		*-3,22	2,84

Примечание: пары, отмеченные звездочкой (*), имеют статистически значимую разницу на уровне доверия 90,0 %. Значком (X) отмечены однородные группы.

Для сравнения использован метод наименьшей значимой разницы, основанный на процедуре Фишера. Точность метода составляет 10,0 %.

Низкая величина разницы для контраста Выборка 2 – Выборка 3 объясняется тем, что при экспериментах достигалась довольно большая величина сжатия, и соответственно величины деформации при втором и третьем этапах нагружения близки и имеют пересекающиеся доверительные интервалы.

На рис. 3 приведено положение некоторых характеристик полученных экспериментальных данных.

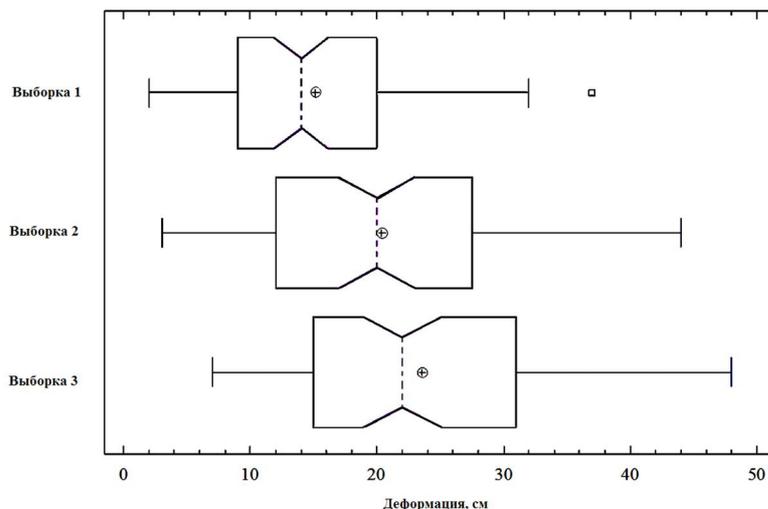


Рис. 3. Соотношение статистических характеристик экспериментальных выборок: медиана (пунктирная линия); средние значения (+); доверительный интервал (сплошная линия)

Для дальнейшей обработки использовались средние значения относительной деформации (табл. 5), с помощью которых рассчитывался модуль упругости.

Таблица 5

Средние величины деформации

Параметр	Высота, м	Нагрузка, Н	Относительная деформация	Модуль упругости, Па
Исходная высота	0,76	–	–	–
Высота после нагружения	1	700	0,214	3207,37
	2	1450	0,287	4346,22
	3	2150	0,331	4944,10
Остаточная высота	0,64	–	–	–

Таким образом, показана значимость выборок, достоверность описания процесса нагружения образцов лесосечных отходов.

Интерпретация результатов. Зависимость свойств слоя отходов лесозаготовок от нагрузки. Для использования результатов экспериментов в технологических расчетах необходимо построить следующие регрессионные зависимости:

- 1) модуль упругости слоя отходов лесозаготовок от приложенной нагрузки;
- 2) модуль упругости слоя отходов лесозаготовок от деформации;
- 3) модуль упругости слоя отходов лесозаготовок от деформации и приложенной нагрузки;
- 4) деформацию слоя отходов лесозаготовок от нагрузки и площади контакта движителя и опоры.

Указанные модели позволят полностью описать взаимодействие лесозаготовительной машины и отходов лесозаготовок на поверхности грунта.

Замечание. Для более точного описания предварительно выберем такой тип модели, при использовании которой предсказанная относительная деформация не превышает единицы.

Выбор типа модели. Выбор типа модели проведем при поиске регрессионной модели четвертого вида – деформация слоя отходов лесозаготовок от нагрузки.

Поиск вида модели осуществляем средствами системы Statgraphics.

Все предлагаемые системой двенадцать типов моделей адекватны (минимальное значение коэффициента детерминации 94,7 %).

Из имеющегося разнообразия выберем модель на основании следующих доводов:

1) расчетные данные, полученные с использованием модели, не превышают единицы в пределах реальных нагрузок (достижение, а тем более превышение этого предела физически представляет собой доведение толщины слоя отходов лесозаготовок до нуля, что в реальных условиях эксплуатации невозможно);

2) кривая, описываемая уравнением модели, имеет асимптоту, параллельную оси x , или не пересекает значение, равное единице в пределах реальной нагрузки.

Первому условию удовлетворяют следующие модели: гиперболическая, обратная гиперболическая 1-го порядка, логарифмическая, S-образная модель, пробит-модель.

Асимптоту найдем, воспользовавшись следующими формулами:

$$\varepsilon = f(G), \quad (5)$$

$$a = \lim_{G \rightarrow \pm\infty} \frac{f(G)}{G}; \quad (6)$$

$$b = \lim_{G \rightarrow \pm\infty} [f(G) - aG],$$

где a , b – коэффициенты уравнения прямой (асимптоты).

Анализируя модели, можно сделать следующие выводы:

1) пробит-модель обладает наибольшим коэффициентом детерминации, но ее график пересекает единицу при нагрузках, соответствующих половине рейсовой нагрузки лесозаготовительной машины, и далее процесс описывается неадекватно;

2) из остальных моделей наибольшим коэффициентом детерминации обладает логарифмическая модель – 99,91 %, ее асимптота находится на бесконечном расстоянии от оси x , в пределах нагрузки до 50 кН не пересекает значения единицы;

3) оставшиеся модели имеют асимптоту, проходящую ниже единицы, и обладают высоким коэффициентом детерминации. Ранее проведенным исследованием [1] установлено, что на волокнах величина относительной деформации составляет до 0,5181 и наиболее близка к этому значению обратная гиперболическая модель 1-го порядка.

Таким образом, останавливаемся на логарифмической и обратной гиперболической моделях. Пробит-модель, хотя и имеет высокий коэффициент детерминации, используется для описания бинарных результатов, и использование ее в данном случае вызвано поиском наиболее адекватной модели. Регрессионные уравнения моделей:

$$\varepsilon = 0,465768 + 0,103657 \ln(G). \quad (7)$$

$$\varepsilon = \frac{1}{2,27482 + \frac{168,676}{G}}. \quad (8)$$

Для окончательного выбора используем ранее полученные результаты [1] по измерению высоты слоя отходов лесозаготовок – 0,52 м, фракционный состав совпадает, нагрузка на слой (с учетом веса лесозаготовительной машины, рейсовой нагрузки, коэффициента использования лесозаготовительной машины, компоновки машины – три оси) 32000 Н, относительная деформация 0,518, средняя высота слоя 0,31 м, ширина пятна контакта 0,12 м².

Обработка с внесенными изменениями показала, что логарифмическая модель имеет более высокий коэффициент детерминации и лучшее F -отношение. На этом основа-

нии выбираем в качестве основной логарифмическую модель роста относительной деформации слоя отходов лесозаготовок, в зависимости от приложенной нагрузки ее окончательный вид:

$$\varepsilon = 0,278996 + 0,0773525 \ln(G). \quad (9)$$

График модели с границами предсказанных значений и 95 %-м доверительным интервалом приведен на рис. 4. Визуально можно оценить прохождение подобранной линии по экспериментальным точкам.

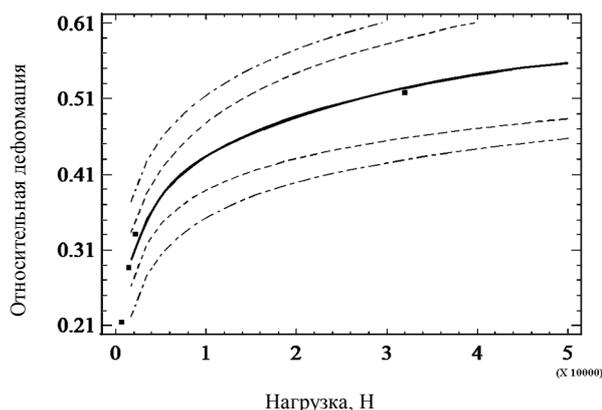


Рис. 4. График регрессионной зависимости $\varepsilon (G)$: штрих-пунктирная линия – границы предсказанных значений; штриховая линия – 95 %-й доверительный интервал

Характеристики полученной модели приведены в табл. 6.

Таблица 6

Характеристики регрессионной зависимости относительной деформации слоя отходов лесозаготовок от приложенной к нему нагрузки

Параметр	Оценка	Ст. ошибка	t-статистика	p-значение	
Коэффициент	-0,28	0,04	-6,35	0,02	
Наклон	0,08	0,01	14,25	0,01	
Анализ дисперсии					
Источник дисперсии	Сумма квадратов	Степень свободы	Средний квадрат	F-критерий	p-значение
Модель	0,05	1	0,05	203,11	0,005
Остатки	0,001	2	0,0002		
Общий	0,05	3			
Коэффициент корреляции	0,99				
R^2 , скорректированный на степень свободы	98,54				
Ст. ошибка оценивания	0,02				
Ср. абсолютная ошибка	0,01				

Подобранную модель используем как предпочтительную.

Регрессионная модель изменения модуля упругости слоя лесосечных отходов в зависимости от деформации предназначена для анализа энергозатрат при движении лесозаготовительной машины и определения минимальной толщины слоя отходов лесозаготовок.

В качестве дополнительной выберем логарифмическую модель:

$$E = 932285 + 397021 \ln(\varepsilon), \text{ Па}, \quad (10)$$

характеристики которой приведены в табл. 7, график – на рис. 5

Таблица 7

Характеристики регрессионной зависимости модуля упругости слоя лесосечных отходов от его относительной деформации

Параметр	Оценка	Ст. ошибка	T-статистика		p-значение
Коэффициент	9322,85	94,1133	99,06		0,00
Наклон	3970,21	71,7589	55,33		0,01
Анализ дисперсии					
Источник дисперсии:	Сумма квадратов	Степень свободы	Средний квадрат	F-критерий	p-значение
Модель	1,56E6	1	1,56E6	3061,09	0,01
Остатки	508,44	1	508,44		
Общий	1,56E6	2			
Коэффициент корреляции	0,99				
R ² , скорректированный на степень свободы	99,93				
Ст. ошибка оценивания	22,55				
Ср. абсолютная ошибка	12,04				

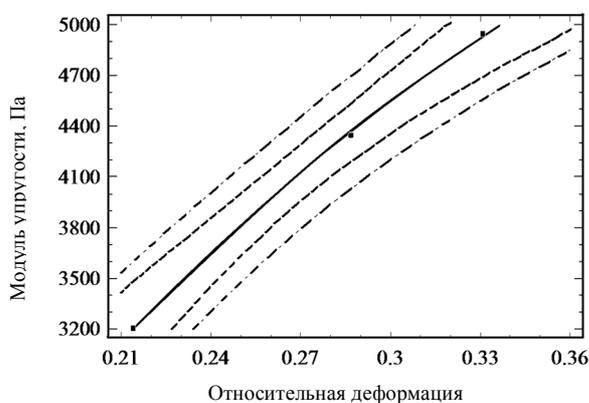


Рис. 5. График регрессионной зависимости $E(\epsilon)$; штрих-пунктирная линия – границы предсказанных значений; штриховая линия – 95 %-й доверительный интервал

$$E = 6942,29 + 1549,72 \cdot \ln(G), \text{ Па.} \quad (11)$$

Характеристики модели приведены в табл. 8, вид модели – на рис. 6.

Таблица 8

Характеристики регрессионной зависимости модуля упругости слоя лесосечных отходов от приложенной к нему нагрузки

Параметр	Оценка	Ст. ошибка	T-статистика		p-значение
Коэффициент	-6942,29	84,44	-82,21		0,00
Наклон	1549,72	11,76	131,82		0,00
Анализ дисперсии					
Источник дисперсии:	Сумма квадратов	Степень свободы	Средний квадрат	F-критерий	p-значение
Модель	1,561E6	1	1,56E6	17376,96	0,00
Остатки	89,595	1	89,59		
Общий	1,56E6	2			
Коэффициент корреляции	0,99				
R ² , скорректированный на степень свободы	99,99				
Ст. ошибка оценивания	9,47				
Ср. абсолютная ошибка	5,08				

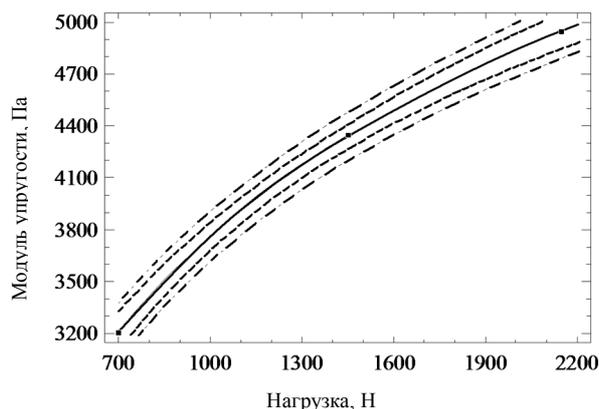


Рис. 6. График регрессионной зависимости $E(G)$; штрих-пунктирная линия – границы предсказанных значений; штриховая линия – 95 %-й доверительный интервал

В некоторых случаях, когда известны нагрузка и площадь, на которую она приходится, полезна модель, связывающая указанные параметры.

Регрессионная зависимость имеет вид:

$$E = 1472250 + 161859,0 \ln\left(\frac{G}{s}\right), \quad (12)$$

где s – площадь опорной поверхности, m^2 .

Отношение G/s представляет собой давление на опорной поверхности.

Характеристики модели приведены в табл.9, вид модели – на рис. 7.

Таблица 9

Характеристики регрессионной зависимости модуля упругости слоя лесосечных отходов от соотношения приложенной нагрузки и площади контакта

Параметр	Оценка	Ст. ошибка	T-статистика		p-значение
Коэффициент	-1,47E6	7840,09	187,79		0,00
Наклон	161859,0	778,473	207,92		0,00
Анализ дисперсии					
Источник дисперсии	Сумма квадратов	Степень свободы	Средний квадрат	F-критерий	p-значение
Модель	2,23E11	1	2,23E11	43230,15	0,00
Остатки	1,03E7	2	5,17E6		
Общий	2,23E11	3			
Коэффициент корреляции	0,99				
R^2 , скорректированный на степень свободы	99,99				
Ст. ошибка оценивания	2273,47				
Ср. абсолютная ошибка	1172,25				

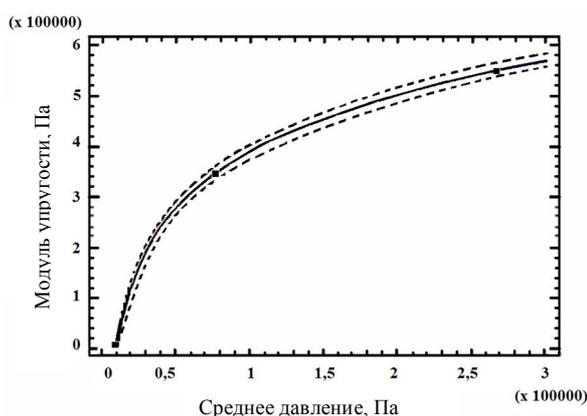


Рис. 7. График регрессионной зависимости $E(G/s)$; штриховая линия – 95 %-й доверительный интервал

Таким образом, проведен комплекс исследований, позволивших с достаточной для технических расчетов точностью описать состояние слоя лесосечных отходов при воздействии на него веса грузовой лесозаготовительной машины.

Выводы

1. Установлена взаимосвязь между приложенной нагрузкой и упругими характеристиками массива лесосечных отходов, позволяющая описывать их состояние в диапазоне воздействия рабочих рейсовых нагрузок при движении лесозаготовительных машин.

2. Разработана система уравнений регрессии, описывающая взаимодействие лесозаготовительной машины и слоя отходов лесозаготовок на волоке, и доказана их адекватность.

3. Наибольшим коэффициентом детерминации обладает логарифмическая модель – 99,91 %, ее асимптота находится на бесконечном расстоянии от оси x , в пределах нагрузки до 50 кН не пересекает значения единицы.

4. Совместное использование результатов исследований, изложенных в работе [4], и представленной системы уравнений, позволит определять эффективность использования лесосечных отходов для строительства трелевочных волоков и влияние на параметры движения лесозаготовительных машин по массивам лесосечных отходов.

Список литературы

1. Галактионов, О. Н. Характеристики настила из лесосечных отходов и состояние грунта на трелевочном волоке / О. Н. Галактионов, А. В. Кузнецов, М. А. Пискунов // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер.: Естественные и технические науки. – 2009. – № 7 (101). – С. 90-95.

2. Lassila, K. Mechanical strengthening of ground to decrease rut-formation in forwarding / K. Lassila // University of Helsinki, Department of Forest Resource Management [Electronic resource]. – Electronic data. – 2002. – Mode access: <http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/maa/mvaro/publications/31/mechanic.pdf>. (дата обращения: 18.08.11).

3. Иванчиков, А. А. Масса и структура лесосечных отходов при сплошных рубках в сосняках Карелии / А. А. Иванчиков // Лесоводственные и экологические последствия рубок в лесах Карелии. – Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1986. – С. 50–61.

4. Галактионов, О. Н. Концентрация отходов лесозаготовок на лесосеке / О. Н. Галактионов // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер.: Естественные и технические науки. – 2008. – № 1. – С. 131–139.

5. Федоренчик, А. С. Вязкоупругие свойства отходов лесозаготовок, используемых для укрепления трелевочных волоков / А. С. Федоренчик, П. А. Протас, А. В. Дорошко [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – 2004. – режим доступа: http://science-bsea.narod.ru/2004/les_2004/fedorenhik_protas.htm (дата обращения: 18.08.11).

6. Федоренчик А. С. Деформация грунтов на технологических элементах лесосеки, укрепленных отходами лесозаготовок / А. С. Федоренчик, С. С. Макаревич, П. А. Протас // Изв. вузов. Лесной журнал. – 2004. – № 4. – С. 33–39.

7. Вестерлюнд, И. Механические повреждения корней и почвы / И. Вестерлюнд // Лесное хозяйство. – 1988. – № 6. – С. 55–56.

8. Удилов, В. И. Исследование некоторых характеристик временных автомобильных дорог с подстилающим слоем из лесосечных отходов: автореф. ... канд. техн. наук / В. И. Удилов. – Свердловск: Уральский лесотехнический институт, 1967. – 26 с.

9. Алексеев, И. А. Экологическая оценка лесных машин / И. А. Алексеев // Лесная промышленность. – 1992. – № 2. – С. 16.

10. Баранцев, А. С. Сравнительная экологическая оценка отечественной и зарубежной техники / А. С. Баранцев // Лесная промышленность. – 1995. – № 4. – С. 20.

11. Кайрюкитис, Л. Воздействие лесных машин на почву / Л. Кайрюкитис, З. Шакунас // Лесное хозяйство. – 1990. – № 6. – С. 37–40.

12. Егорова, Н. В. К вопросу об изменении химических свойств почвы в результате очистки лесосек / Н. В. Егорова, В. Н. Куликова // Лесные почвы Карелии и изменение их под влиянием лесохозяйственных мероприятий. – Петрозаводск: КФ АН СССР, 1962. – С. 58–70.

13. Беккер, М. Г. Введение в теорию систем местность–машина / М. Г. Беккер – М.: Машиностроение, 1973. – 520 с.

14. ГОСТ 16483.9-73. Методы определения модуля упругости при статическом изгибе. – переиздание (сентябрь 1999 г.) с изм. №1, 2, утв. в январе 1980 г., октябре 1988 г. – М.: Издательство стандартов, 1999. – 7 с.

Статья поступила в редакцию 20.09.11.

O. N. Galaktionov, A. V. Kuznetsov

CUTTINGS ELASTIC CHARACTERISTICS

Results of elasticity coefficient change of cuttings are presented. Cuttings elasticity coefficient dependance on sheer weight, mover contact area and bearing is obtained. Research results may be used in work planning of logger road strengthening.

Key words: *cuttings, elasticity coefficient, harvesting equipment, scheduled load.*

ГАЛАКТИОНОВ Олег Николаевич – кандидат технических наук, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесного комплекса Петрозаводского государственного университета (Россия, Петрозаводск). Область научных интересов – исследование и оптимизация процессов лесозаготовок, поиск оптимальных условий заготовки и утилизации лесосечных отходов, моделирование технологических процессов лесозаготовок с полной утилизацией древесной биомассы. Автор 82 публикаций.

E-mail: galakt@psu.karelia.ru

КУЗНЕЦОВ Алексей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и оборудования лесного Петрозаводского государственного университета (Россия, Петрозаводск). Область научных интересов – решение задач оптимизации транспортных потоков лесного комплекса, исследование технологических процессов утилизации древесной биомассы. Автор 47 публикаций.

E-mail: kuzalex@psu.karelia.ru

УДК 625.072:531.8

Е. В. Вайнштейн, В. М. Вайнштейн, П. А. Нехорошков

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ЛЕСОВОЗНОЙ АВТОДОРОГИ ПО КАСАТЕЛЬНЫМ НАПРЯЖЕНИЯМ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Приведены результаты исследований напряженно-деформированного состояния конструкции дорожной одежды лесовозной автомобильной дороги по касательным напряжениям методом конечных элементов с использованием компьютерного моделирования по программному комплексу «PLAXIS». Параметры напряженно-деформированного состояния конструкции дорожной одежды лесовозной автомобильной дороги определены при размещении двух лесовозных автопоездов по полосам движения. Данные расчетов позволяют сравнить их с данными, полученными по отраслевым нормам дорожного хозяйства расчета нежестких дорожных одежд.

Ключевые слова: *щебеночно-мастичный асфальтобетон, лесовозный автопоезд, конструкция дорожной одежды.*

Введение. Для автомобильного лесотранспорта, как и для всего лесопромышленного комплекса в целом, основной задачей развития является дальнейшее повышение эффективности производства. Дорожные условия оказывают значительное влияние на технико-эксплуатационные показатели работы автомобильного лесотранспорта. Дорожная одежда лесовозной автомобильной дороги является сложной многослойной инженерной конструкцией, на которую воздействуют нагрузки от лесовозных автопоездов и других транспортных средств [1].

Целью работы является определение параметров напряженно-деформированного состояния конструкции дорожной одежды лесовозной автомобильной дороги при размещении двух лесовозных автопоездов по полосам движения при компьютерном моделировании методом конечных элементов по программному комплексу «PLAXIS», а также установление коэффициента прочности на сдвиг в слоях земляного полотна и сравнение его с расчетным по отраслевым дорожным нормам (ОДН 218.046 – 2001) [2].

Решаемые задачи, направленные на достижение цели, заключаются в определении коэффициента прочности на сдвиг, в слоях земляного полотна путем моделирования и определения параметров напряженно-деформированного состояния дорожной одежды по касательному напряжению.

Основные уравнения имеют следующий вид.

Рассмотрим силу F (рис.1.), действующую на упругое полупространство, которое имеет модуль упругости E и коэффициент Пуассона μ . Выберем произвольную систему координат, в которой ось Z направлена вниз по направлению действия силы, а две другие оси расположены в плоскости действия силы. Координаты точки приложения силы обозначим x, y, z , причём $z = 0$.

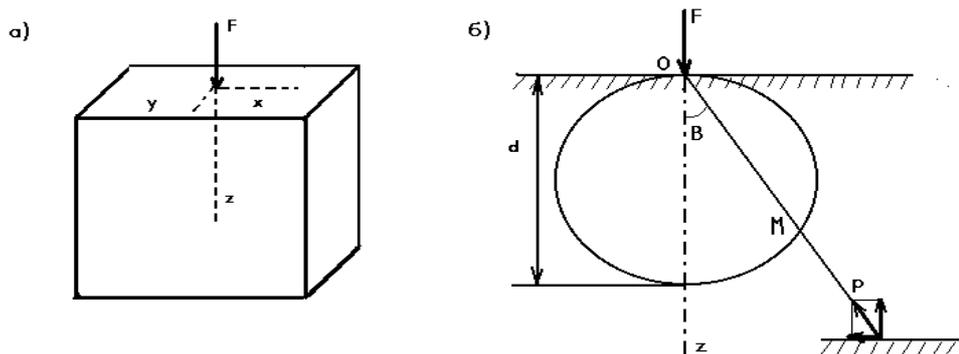


Рис.1. Расчетная схема действия сосредоточенной силы на полупространство и напряжения в точке М

Пусть имеется некоторая точка М с координатами x_m, y_m, z_m . Расстояние от точки М до точки приложения силы обозначим R и найдём по формуле

$$R = \sqrt{(x_m - x)^2 + (y_m - y)^2 + z_m^2}. \quad (1)$$

Напряжения в точке М вычисляются по формулам Буссинеска:

$$\begin{aligned} \sigma_z &= -\frac{3F}{2\pi} \frac{z_m^3}{R^5}; \\ \sigma_x &= -\frac{3F}{2\pi} \left\{ \frac{(x_m - x)^2 z_m}{R^5} + \frac{1-2\mu}{3} \left[\frac{1}{R(R+z_m)} - \frac{(2R+z_m)(x_m - x)^2}{(R+z_m)^2 R^3} + \frac{z_m}{R^3} \right] \right\}; \\ \sigma_y &= -\frac{3F}{2\pi} \left\{ \frac{(y_m - y)^2 z_m}{R^5} + \frac{1-2\mu}{3} \left[\frac{1}{R(R+z_m)} - \frac{(2R+z_m)(y_m - y)^2}{(R+z_m)^2 R^3} + \frac{z_m}{R^3} \right] \right\}; \\ \tau_{zx} &= -\frac{3F}{2\pi} \frac{(x_m - x) z_m^2}{R^5}; \\ \tau_{zy} &= -\frac{3F}{2\pi} \frac{(y_m - y) z_m^2}{R^5}; \\ \tau_{xy} &= -\frac{3F}{2\pi} \left[\frac{(x_m - x)(y_m - y) z_m}{R^5} - \frac{1-2\mu}{3} \frac{(2R+z_m)(x_m - x)(y_m - y)}{(R+z_m)^2 R^3} \right]. \end{aligned} \quad (2)$$

От колеса лесовозного автомобиля на полупространство действует распределённая по некоторой области ω нагрузка с интенсивностью $q(x,y)$ (рис.2). Выделим в этой области элементарную площадку $d\omega = dx dy$.

Действующая на неё сила будет равна

$$dF = q \cdot d\omega = q \cdot dx dy. \quad (3)$$

Одновременно с напряжением от колес лесовозного автомобиля на грунт земляного полотна действует распределенная нагрузка от веса дорожной одежды. На выделенную элементарную площадку $d\omega = dx dy$ действует сила

$$dP = \sum_1^n \gamma_i \cdot z_i \cdot d\omega = \sum_1^n \gamma_i z_i \cdot dx dy, \quad (4)$$

где γ_i – плотность (i) слоя дорожной одежды, кг/м^3 ; z_i – толщина слоя, м.

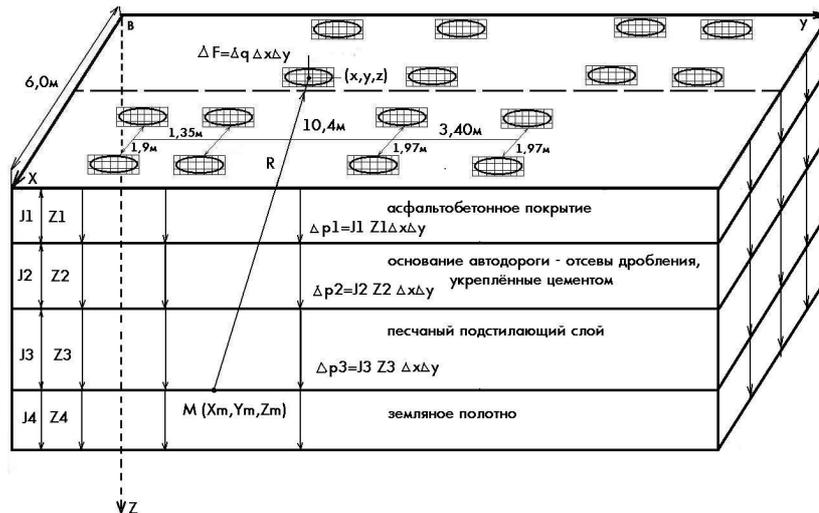


Рис. 2. Расчетная схема действия распределенной нагрузки от подвижного состава и веса дорожной одежды на полупространство (B)

Интенсивность нагрузки от дорожной одежды определяется от каждого слоя в зависимости от плотности его материала и толщины. На поверхности грунта земляного полотна она равна

$$S = \gamma_1 \cdot z_1 + \gamma_2 \cdot z_2 + \gamma_3 \cdot z_3, \tag{5}$$

где γ_1 – плотность асфальтобетона, кг/м³; z_1 – толщина слоя асфальтобетона, м; γ_2 – плотность укрепленных цементом отсеков дробления известняков, кг/м³; z_2 – толщина слоя укрепленных цементом отсеков дробления известняков, м; γ_3 – плотность песка, кг/м³; z_3 – толщина песчаного слоя, м.

Используя принцип суперпозиции сил и интегрируя по области ω , найдём полные значения напряжений [3].

$$\sigma_z = -\frac{3z_m^3}{2\pi} \iint_{\omega} \frac{q dx dy}{R^5};$$

$$\sigma_x = -\frac{3}{2\pi} \iint_{\omega} q \left\{ \frac{(x_m - x)^2 z_m}{R^5} + \frac{1 - 2\mu}{3} \left[\frac{1}{R(R + z_m)} - \frac{(2R + z_m)(x_m - x)^2}{(R + z_m)^2 R^3} + \frac{z_m}{R^3} \right] \right\} dx dy$$

$$\sigma_y = -\frac{3}{2\pi} \iint_{\omega} q \left\{ \frac{(y_m - y)^2 z_m}{R^5} + \frac{1 - 2\mu}{3} \left[\frac{1}{R(R + z_m)} - \frac{(2R + z_m)(y_m - y)^2}{(R + z_m)^2 R^3} + \frac{z_m}{R^3} \right] \right\} dx dy \tag{6}$$

$$\tau_{zx} = -\frac{3z_m^2}{2\pi} \iint_{\omega} q \frac{(x_m - x)}{R^5} dx dy;$$

$$\tau_{zy} = -\frac{3z_m^2}{2\pi} \iint_{\omega} q \frac{(y_m - y)}{R^5} dx dy;$$

$$\tau_{xy} = -\frac{3}{2\pi} \iint_{\omega} q \left[\frac{(x_m - x)(y_m - y)z_m}{R^5} - \frac{1 - 2\mu}{3} \frac{(2R + z_m)(x_m - x)(y_m - y)}{(R + z_m)^2 R^3} \right] dx dy.$$

Аналогично определяем полные значения напряжений от веса дорожной одежды

$$\begin{aligned} \sigma_z &= -\frac{3z_m^3}{2\pi} \sum_{i=1}^n \iint_{\omega} \frac{\gamma_i z_i dx dy}{R^5}; \\ \sigma_x &= -\frac{3}{2\pi} \sum_{i=1}^n \iint_{\omega} \gamma_i z_i \left\{ \frac{(x_m - x)^2 z_m}{R^5} + \frac{1 - 2\mu}{3} \left[\frac{1}{R(R + z_m)} - \frac{(2R + z_m)(x_m - x)^2}{(R + z_m)^2 R^3} + \frac{z_m}{R^3} \right] \right\} dx dy; \\ \tau_{zx} &= -\frac{3z_m^2}{2\pi} \sum_{i=1}^n \iint_{\omega} \gamma_i z_i \frac{(x_m - x)}{R^5} dx dy; \\ \tau_{zy} &= -\frac{3z_m^2}{2\pi} \sum_{i=1}^n \iint_{\omega} \gamma_i z_i \frac{(y_m - y)}{R^5} dx dy; \\ \tau_{xy} &= -\frac{3}{2\pi} \sum_{i=1}^n \iint_{\omega} \gamma_i z_i \left[\frac{(x_m - x)(y_m - y)z_m}{R^5} - \frac{1 - 2\mu}{3} \frac{(2R + z_m)(x_m - x)(y_m - y)}{(R + z_m)^2 R^3} \right] dx dy. \end{aligned} \tag{7}$$

Под действием заданных нагрузок в теле появляются напряжения. При анализе напряжений в окрестности рассматриваемой точки М (рис.3) выделим бесконечно малый элемент в форме параллелепипеда, ребра которого параллельны координатным осям, а их длина равна dx, dy, dz.

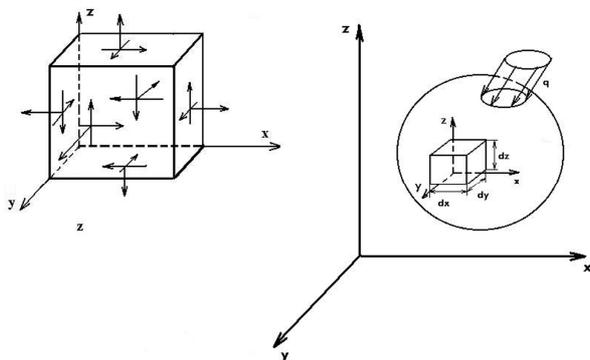


Рис. 3. Схема действия напряжений на гранях параллелепипеда в исследуемой точке элемента

На гранях этого параллелепипеда действуют три нормальных и шесть касательных напряжений, совокупность которых образует тензор напряжений. Одноименные и параллельные напряжения, действующие на параллельных гранях бесконечно малого параллелепипеда, отличаются на бесконечно малую величину и потому их можно считать одинаковыми. Полученные зависимости позволяют найти наибольшие нормальные и касательные напряжения для рассматриваемой точки.

Среди бесчисленного множества площадок, которые можно провести через исследуемую точку, имеются три взаимно перпендикулярные площадки, касательные напряжения на которых отсутствуют. Эти площадки и действующие по ним нормальные напряжения будут главными [4]. В общем случае пространственного напряженного состояния связь между главными напряжениями и напряжениями по любой наклонной площадке, проходящей через данную точку, описывается кубическим уравнением [5]

$$\sigma^3 - I_1 \sigma^2 + I_2 \sigma - I_3 = 0, \tag{8}$$

где I_1, I_2, I_3 – соответственно первый, второй, третий инварианты тензора напряжений.

$$I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z; \tag{9}$$

$$I_2 = \sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2; \tag{10}$$

$$I_3 = \sigma_x \sigma_y \sigma_z + 2\tau_{xy} \tau_{yz} \tau_{zx} - \sigma_x \tau_{yz}^2 - \sigma_y \tau_{zx}^2 - \sigma_z \tau_{xy}^2. \tag{11}$$

Решив это уравнение, найдем главные напряжения $\sigma_1; \sigma_2; \sigma_3$. Кубическое уравнение решаем методом половинного деления.

Все напряжения отличны от нуля, и напряженное состояние является объемным, трехосным.

По площадкам, наклоненным под углом 45° к главным, возникают наибольшие касательные напряжения. Значения этих напряжений определяются по формуле

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} . \quad (12)$$

При $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ τ_{max} является максимальным касательным напряжением для данной точки тела, где площадка параллельна σ_2 .

Используя условия третьей теории прочности, найдены максимальные касательные напряжения. Условие прочности будет иметь вид

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} < [\tau_{пр}], \quad (13)$$

где $[\tau_{пр}]$ – предельная величина активного напряжения сдвига (в той же точке), превышение которой вызывает нарушение прочности на сдвиг.

Предельную величину активного напряжения сдвига в грунте земляного полотна определяется по теории прочности Мора-Кулона.

$$\tau_{max} < [\tau_{пр}], \text{ или } \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} < C + G_m \cdot \operatorname{tg} \phi . \quad (14)$$

В случае напряженно-деформированного состояния оценка прочности в данной точке конструкции производится путем непосредственного сопоставления возникающего в ней рабочего напряжения с предельным. Коэффициент запаса прочности равен отношению предельного напряжения к максимальному:

$$K_{пр} = \frac{[\tau_{пр}]}{\tau_{max}} . \quad (15)$$

Рассмотрим влияние параметров лесовозных автопоездов и их расстановку на автодороге при определении максимальных касательных напряжений в покрытии, основании автодороги, рабочем слое земляного полотна и в теле насыпи на глубине 84–200 см от поверхности покрытия. Расстановку лесовозных автопоездов в сечении автомобильной дороги произведем таким образом, когда две самые нагруженные вторые оси тягача будут находиться в одном сечении по оси Z . Схема расстановки двух лесовозных автопоездов приведена на рис.4. Нагрузка на вторую ось принята с коэффициентом перегруза, равным $K_{п} = 1,4$.

Вариант расстановки двух лесовозных автопоездов следующий: правая сторона проезжей части автодороги – лесовозный автопоезд МАЗ 509А+ГКБ-9383-011, груженный с нагрузкой на вторую ось 178 кН [2]. Левая сторона проезжей части автодороги – лесовозный автопоезд МАЗ 509А+ГКБ-9383-011, груженный с нагрузкой на вторую ось 178 кН.

Выберем произвольную систему координат, у которой ось Z направлена вдоль трассы по ходу движения по правой полосе, ось X перпендикулярно ей, ось Y вниз, плоскость XOZ на поверхности покрытия.

Автомобили двигаются по правой и левой полосам. Введём местную систему координат относительно автомобиля. На рис. 4 показана схема определения координат расстановки лесовозов. Параметры и координаты отпечатков колес лесовозных автопоездов по вариантам их расстановки приведены в таблице.

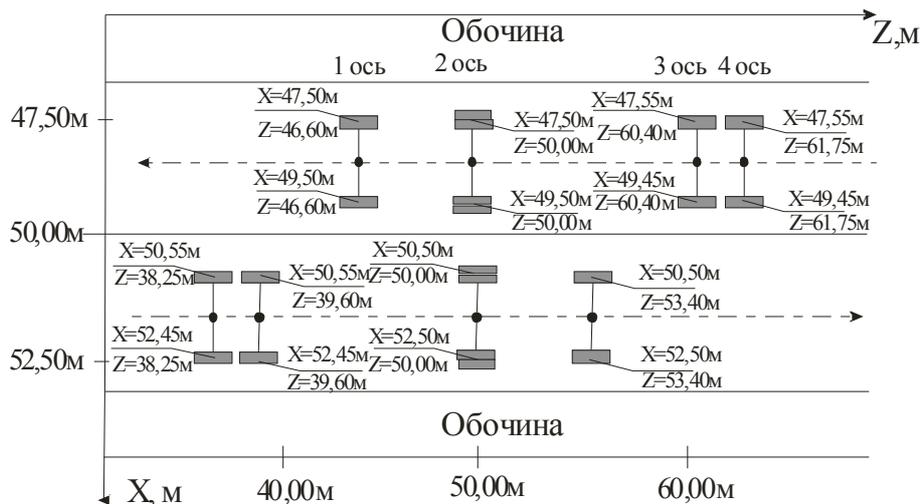


Рис.4. Схема расстановки двух лесовозных автопоездов

Параметры и координаты отпечатков колес лесовозных автопоездов

Но- мер лесо- воза	Но- мер оси	Диа- метр отпеч. коле- са, см	Наг- рузка на коле- са, кН	Координаты колес автопоезда, м							
				Левая полоса движения				Правая полоса движения			
				Правые колеса		Левые колеса		Левые колеса		Правые колеса	
				X	Z	X	Z	X	Z	X	Z
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вариант 1											
1, 2	1	26	32,5	47,50	46,60	49,50	46,60	50,50	53,40	52,50	53,40
	2	43	89,18	47,50	50,00	49,50	50,00	50,50	50,00	52,50	50,00
	3	36	61,75	47,55	60,40	49,45	60,40	50,55	39,60	52,45	39,60
	4	36	61,75	47,55	61,75	49,45	61,75	50,55	38,25	52,45	38,25

Исследования параметров напряженно-деформированного состояния конструкции дорожной одежды лесовозной автомобильной дороги после расстановки лесовозных автопоездов и определения его параметров произведены методом конечных элементов.

В настоящее время существует ряд программ, реализующих данный метод. В работе был использован наиболее адаптированный к дорожной специфике программный комплекс «PLAXIS». Расчетный комплекс «PLAXIS» представляет собой пакет прикладных вычислительных программ для конечно-элементного анализа напряженно-деформированного состояния системы основание-фундамент-сооружение в условиях плоской и осесимметричной задач [6].

Исходными для расчета послужили следующие данные:

1 слой – асфальтобетонное покрытие из ЦМА, толщиной 0,06 м. Модуль упругости асфальтобетона при +20° С равен $E_{упр} = 1477$ МПа [6]; коэффициент Пуассона $\mu=0,1$; плотность $\rho = 25,10$ кН/м³;

2 слой – асфальтобетонное покрытие из пористого асфальтобетона М-I толщиной 0,06 м. Модуль упругости асфальтобетона при +20° С равен $E_{упр} = 800$ МПа [2]; коэффициент Пуассона $\mu=0,1$; плотность $\rho = 24,30$ кН/м³;

3 слой – щебеночное основание толщиной 0,38 м. Модуль упругости щебня равен $E_{упр} = 250$ МПа [2]; коэффициент Пуассона $\mu=0,15$; плотность $\rho = 20,0$ кН/м³;

4 слой – песчаный слой толщиной 0,34 м. Модуль упругости равен $E_{\text{упр}} = 100$ МПа; коэффициент Пуассона $\mu=0,25$; плотность $\rho = 16,5$ кН/м³, сцепление $C = 5$ кПа (5 кН/м²), угол внутреннего трения $\varphi = 42^{\circ}$ [2];

5 слой – грунт суглинок легкий. Модуль упругости равен $E_{\text{упр}} = 43$ МПа; коэффициент Пуассона $\mu=0,35$; плотность $\rho = 18,0$ кН/м³, сцепление $C = 4,7$ кПа (4,7 кН/м²), угол внутреннего трения $\varphi = 26^{\circ}$.

На основании проведенных расчетов при расстановке лесовозов получены следующие данные по определению максимальных касательных напряжений.

На рис.5. показана схема расстановки двух лесовозов и нагрузки, действующей от колес на покрытие.

Схема деформирования дорожной одежды приведена на рис. 6.

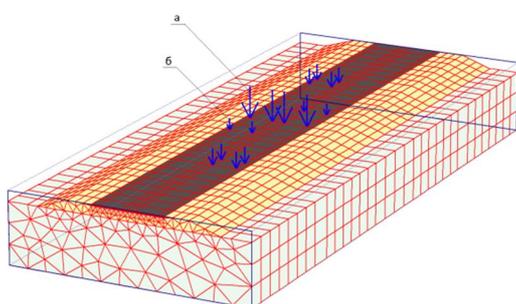


Рис. 5. Расчетная схема метода конечных элементов: а – большими стрелками показано положение наиболее нагруженной задней оси лесовоза; б – маленькими стрелками показано положение всех остальных, менее нагруженных осей

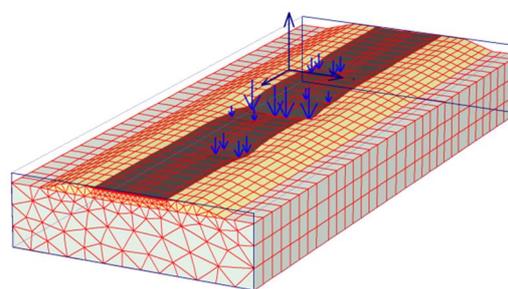


Рис. 6. Схема деформирования конструкции дорожной одежды

Схема деформирования дорожной одежды в опасном сечении приведена на рис. 7. Изолинии касательных напряжений в конструкции представлены на рис.8.

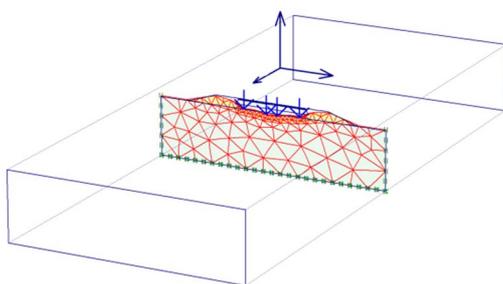


Рис. 7. Схема деформирования дорожной одежды в опасном сечении

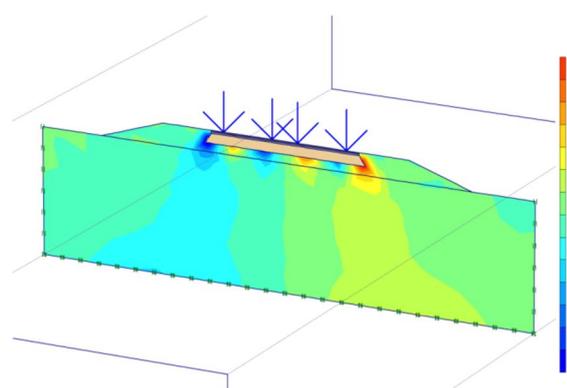


Рис. 8. Изолинии касательных напряжений в конструкции

На основании построенных изолиний касательные напряжения точек полупространства от нагрузки двух лесовозных автопоездов приведены на рис. 9.

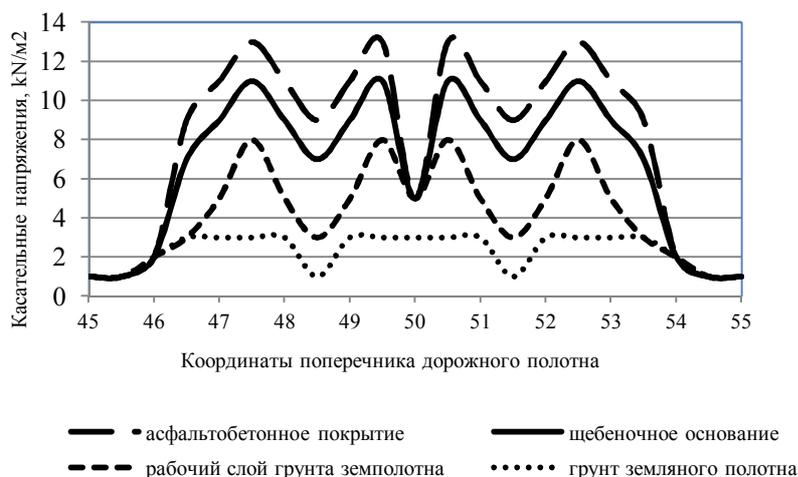


Рис. 9. График максимальных касательных напряжений от нагрузки на вторую ось лесовозных автопоездов

Анализ рис. 9. показывает, что наибольшие касательные напряжения имеют место под колесами второй оси лесовозного автопоезда. Касательные напряжения от действия нагрузки под колесами второй оси тягача на левой и правой полосе движения в асфальтобетонном покрытии составляют $\tau_{\phi 1} = 0,013$ МПа, на кромках покрытия и между колесами – $\tau_{\phi 1} = 0,009$ МПа. Соответственно касательные напряжения на кромке покрытия в 1,4 раза меньше, чем под колесами перегруженного тягача. По глубине конструкции дорожной одежды касательные напряжения уменьшаются. Так, в щебеночном основании на глубине 0,12 м от поверхности покрытия касательные напряжения составляют $\tau_{\phi 2} = 0,011$ МПа под колесами второй оси лесовозного автопоезда. На уровне рабочего слоя грунта земляного полотна на глубине 0,84 м от поверхности покрытия касательные напряжения активного напряжения сдвига составляют $\tau_{\phi 3} = 0,008$ МПа.

По толщине конструкции дорожной одежды с увеличением глубины от поверхности покрытия касательные напряжения уменьшаются. Касательные напряжения на уровне щебеночного основания уменьшаются в 1,2 раза, на уровне верха рабочего слоя земляного полотна – в 1,6 раза, в подошве земляного полотна – в 4,3 раза.

По данным расчета конструкции дорожной одежды по сдвигу в грунте земляного полотна по [2], расчетное активное напряжение сдвига равно $\tau_{\phi, \text{расч}} = 0,0123$ МПа, а предельная величина активного напряжения сдвига $\tau_{\text{пр, расч}} = 0,0148$ МПа.

Коэффициент прочности по сдвигу в грунте земляного полотна расчетным методом

$$\text{составляет: } K_{\text{пр}} = \frac{\tau_{\text{пред}}}{\tau_{\phi, \text{расч}}} = \frac{0,0148}{0,0123} = 1,20.$$

Фактические значения касательных напряжений на уровне рабочего слоя грунта земляного полотна, рассчитанные по расчетному комплексу «PLAXIS», составляют $\tau_{\phi, \text{эксп}} = 0,008$ МПа, что меньше, чем расчетные по [2] $\tau_{\phi, \text{расч}} = 0,0123$ МПа. Коэффициент прочности по сдвигу в грунте земляного полотна, полученный в сравнении по расчетному комплексу «PLAXIS» и отраслевым нормам, составляет:

$$K_{\text{пр}} = \frac{\tau_{\phi, \text{расч}}}{\tau_{\phi, \text{эксп}}} = \frac{0,0123}{0,008} = 1,53.$$

Относительно предельного состояния сдвига коэффициент прочности составляет $K_{пр} = 1,85$, что показывает большой запас прочности по сдвигу в грунте земляного полотна в сравнении с касательными напряжениями, возникающими от построенной модели, и расчетами по отраслевым нормам [2].

Выводы

1. Анализ расчета касательных напряжений по расчетному комплексу «PLAXIS» показал: а) максимальные касательные напряжения возникают под колесами второй оси автопоезда; б) влияние соседних колес автопоездов, расположенных на разных полосах движения, не выявлено; в) по толщине конструкции дорожной одежды с увеличением глубины от поверхности покрытия касательные напряжения уменьшаются. На уровне щебеночного основания, глубиной 12 см от покрытия – в 1,2 раза, в рабочем слое земляного полотна, на глубине 84 см от покрытия – в 1,6 раза, в подошве земляного полотна на глубине 144 см – в 4,3 раза.

2. Касательные напряжения, полученные по расчетному комплексу «PLAXIS», для неблагоприятной расстановки лесовозных автопоездов оказались в 1,53 раза меньше, чем рассчитанные по отраслевым нормам [2].

3. Касательные напряжения, полученные по расчетному комплексу «PLAXIS», в сравнении с предельным значением активного напряжения сдвига, оказались в 1,85 раза меньше, что показывает большой запас прочности по сдвигу в грунте земляного полотна.

Список литературы

1. Радовский, Б. С. Проектирование дорожных одежд для движения большегрузных автомобилей / Б. С. Радовский, А. С. Супрун, И. И. Козаков. – Киев: Будивэльник, 1989. – 168 с.
2. Инструкция по проектированию нежестких дорожных одежд ОДН 218.046-01. – М.: Гос. служба дор. хоз-ва м-ва транспорта РФ, 2001. – 145 с.
3. Вайнштейн, В.М. Разработка конструкции и технологии строительства лесовозных дорог с использованием отсевов дробления известняков (для условий РМЭ): автореф. дисс. ... канд. техн. наук / В. М. Вайнштейн. – Йошкар-Ола, 2002. – 22 с.
4. Ицкович, Г.М. Сопротивление материалов / Г.М. Ицкович. – М.: Высш. шк., 1960. – 530 с.
5. Александров, А.В. Основы теории упругости и пластичности: Учебник для строит. спец. вузов / А.В. Александров, В.Д. Потапов. – М.: Высш. шк., 1990. – 400 с.: ил.
6. Вайнштейн, Е. В. Технология строительства лесовозных дорог из щебеночно-мастичных асфальтобетонов с отсевами дробления известняков: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Е. В. Вайнштейн. – Йошкар-Ола, 2010. – 16 с.

Статья поступила в редакцию 04.06.12.

Работы выполнены в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ ФГБОУ ВПО «Марийский государственный технический университет» на 2012 год (шифр проекта 5.3516.2011, № 26).

E. V. Vainshtein, V. M. Vainshtein, P. A. Nekhoroshkov

RESEARCH OF STRAIN-STRESS STATE OF ROAD STRUCTURE OF FOREST MOTOR ROAD BY TANGENTIAL STRESS WITH THE USE OF FINITE-ELEMENT METHOD

Research results of strain-stress state of road structure of forest motor road by tangential stress are presented. A finite-element method with the use of computer simulation in software solution «PLAXIS» was used in the course of research. Characteristics of strain-stress state of road structure of forest motor road are determined with the help of two timber trucks placed at the traffic lanes. Analytical data make it possible to compare the results with the road facilities trade standards data of flexible pavement calculation.

Key words: rubble and mastic asphalt concrete, timber truck, road structure.

ВАЙНШТЕЙН Виктор Мейлехович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог Поволжского государственного технологического университета (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – рациональное лесопользование, дорожно-строительные материалы и технологии. Автор 36 публикаций.

E-mail: VajnshtejnVM@volgatech.net

НЕХОРОШКОВ Петр Аркадьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог Поволжского государственного технологического университета (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – рациональное лесопользование, транспорт леса, оптимизация и моделирование транспорта леса, геоинформационные и логистические системы. Автор 38 публикаций.

E-mail: NehoroshkovPA@volgatech.net

ВАЙНШТЕЙН Евгений Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог Поволжского государственного технологического университета (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – рациональное лесопользование, дорожно-строительные материалы и технологии. Автор 16 публикаций.

E-mail: VajnshtejnEV@volgatech.net

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

УДК 630*232.322.44

*Е. М. Романов, Д. И. Мухортов,
С. С. Гордеева, Э. В. Мичеева*

ПРИМЕНЕНИЕ БИОАКТИВИЗИРУЮЩИХ ДОБАВОК ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ В НЕТРАДИЦИОННЫЕ УДОБРЕНИЯ

Проведены результаты исследований по получению нетрадиционных удобрений из органических отходов с введением в состав компостных смесей биоактивизирующих добавок. Представлены характеристики полученных компостов. Получены сеянцы сосны обыкновенной, выращенные при использовании модифицированных компостов в лесных питомниках Среднего Поволжья.

Ключевые слова: *осадки сточных вод, гидролизный лигнин, биоактивизирующие добавки, нетрадиционные органические удобрения, сеянцы сосны обыкновенной.*

Введение. Сохранение и воспроизводство почвенного плодородия лесных питомников является основным условием гарантированного получения качественного лесопосадочного материала [1]. В связи с недостаточным количеством традиционных органических удобрений и высокой стоимостью минеральных становится актуальной разработка технологий производства местных удобрений из доступного органического сырья. Наряду с навозом, птичьим пометом, соломой, сапропелями, для работников лесного хозяйства может представлять большой интерес использование в качестве мелиорантов осадков сточных вод очистных сооружений канализации, гидролизного лигнина, опилок и других видов коммунально-бытовых и промышленных отходов. Их переработка методом аэробного компостирования позволяет получать достаточно эффективные органические удобрения [2]. К сожалению, неоднородность состава и свойств органических отходов не всегда гарантирует их быструю переработку в компосты с заранее заданными агрохимическими параметрами. Для сокращения сроков компостирования смесей органических отходов и повышения качества получаемых удобрений в настоящее время существует возможность применения биоактивизирующих добавок [3].

Цель исследования – изучить влияние введения активизирующих биологических добавок в смеси органических отходов при получении нетрадиционных удобрений методом аэробного компостирования на изменение их качественных характеристик.

Решаемые задачи:

1) изучить влияние введения биоактивизирующих добавок на процесс аэробного компостирования смесей органических отходов на агрохимические свойства получаемых нетрадиционных удобрений;

2) оценить влияние нетрадиционных органических удобрений, модифицированных биологическими добавками, на изменение агрохимических свойств почв лесных питомников;

3) определить влияние внесения в почву нетрадиционных органических удобрений, модифицированных биологическими добавками, на рост сеянцев сосны обыкновенной.

Объект и методика исследований. Объектом исследований являлось воздействие активизирующих биологических добавок на агрохимические свойства компостов из органических отходов, модифицированных ими почв лесных питомников и рост сеянцев сосны обыкновенной. Эксперименты по изучению процесса переработки органических отходов в нетрадиционные удобрения для лесных питомников методом аэробного компостирования заключались в изучении влияния внесения биоактивизирующих добавок: активатора разложения стерни (АРС), активатора почвенной микрофлоры (АПМ) и азотовита [4]. Активатор почвенной микрофлоры (АПМ) содержит термофильные бактерии и консорциум молочнокислых бактерий: *Streptococcus thermophilus*, *Streptococcus bovis*, *Lactobacillus salivarius var salicinicus*, *Lactobacillus salivarius var salivarius*, *Lactobacillus acidophilus*, активатор разложения стерни и компостирования растительного материала (АРС) представляет собой консорциум бактерий: *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus acidophilus*, *Streptococcus thermophilus*, а азотовит – *Azotobacter chroococcum*. Органическими отходами, подвергавшимися аэробной переработке, являлись гидролизный лигнин (отход гидролизно-дрожжевых заводов) и осадки сточных вод очистных сооружений канализации.

Опытные партии удобрений были получены в Кададинском ОЛХ Пензенской области и Мушмаринском лесном питомнике Республики Марий Эл. Введение биологических добавок в смеси органических отходов осуществлялось на разных этапах аэробного компостирования. Для этого предварительно готовились смеси из гидролизного лигнина и осадков сточных вод. Соотношение компонентов в смеси отходов рассчитывалось исходя из их исходной влажности и оптимальной влажности компостируемой смеси [2]. В процессе биотермической переработки отходов для определения стадий компостирования и необходимости проведения перебуртовок производилось измерение температуры почвенным термометром в шести точках на глубине 1 м. После достижения температуры в теле бурта компостируемых смесей +55°C осуществлялась перебуртовка.

Для изучения влияния введения биологических добавок в исходную смесь органических отходов на мезофильной стадии [5] компостирования смесь закладывалась в ящики объемом 2 м³, при введении биоактивизирующих добавок в компостируемую смесь на стадии остывания (после достижения температуры в теле бурта +55°C) и на стадии созревания – в бурты объемом 20 м³. Повторность экспериментов четырехкратная. Препараты вносились в виде рабочих растворов из расчета 5 мл каждой биологической добавки на мезофильной стадии и стадии остывания и 20 мл биологических добавок каждого вида на стадии созревания на 1 м³ компостируемой смеси в следующих вариантах: вариант 1 – вносился АРС; вариант 2 – вносились АРС и АПМ; вариант 3 – вносились АРС, АПМ и азотовит. В качестве контрольных принимали варианты без внесения биологических добавок.

Для оценки влияния введения биологических добавок на свойства нетрадиционных удобрений были отобраны образцы готовых компостов. Отбор осуществлялся по ГОСТ

26712-85. Микробиологический анализ проводился на стандартных питательных средах: актиномицеты на КАА (крахмало-аммиачный агар), нитрификаторы на МПА (мясо-пептонный агар), олигонитрофилы на среде Эшби, грибы на среде Чапека, аммонификаторы на пептонной воде, маслянокислые на среде Гильтая, анаэробные фиксаторы азота – среда Виноградского, разлагающие клетчатку – среда Гетчинсона. Содержание органического вещества в удобрениях определялось по ГОСТ 27980-88, общего азота – по ГОСТ 26715-85, аммонийного азота – по ГОСТ 26716-85, общего фосфора – по ГОСТ 26717-85, общего калия – по ГОСТ 26718-85, подвижного фосфора и обменного калия – по Кирсанову, кислотность солевой вытяжки удобрений оценивалась по ГОСТ 27979-88.

Изучение влияния внесения нетрадиционных органических удобрений, модифицированных биологическими добавками, на изменение агрохимических показателей почв лесных питомников и рост сеянцев сосны обыкновенной осуществлялось в Мушмаринском лесопитомнике (поле № 20, дерново-подзолистая связанно-песчаная почва) и Нижнелиповском питомнике Кададинского ОЛХ (поле № 1 и № 3, светло-серая лесная супесчаная почва на многочисленных наносах). Внесение компостов производилось осенью площадками 5×10 м в дозе 80 т/га по сухому веществу. Повторность опыта четырехкратная. В качестве контроля принимались варианты без внесения мелиорантов. После заделки удобрений в почву по ГОСТ 28168-89 были отобраны почвенные образцы, а в лабораторных условиях изучены их агрохимические показатели: содержание гумуса – по ГОСТ 26213-91, нитратного азота – по ГОСТ 26488-85, подвижных фосфора и калия – по ГОСТ 26207-91, кислотность солевой вытяжки – по ГОСТ 26483-85. Плотность сложения и влажность почвы определяли термовесовым методом с использованием бурика Качинского с известным объемом на глубине 0-10 и 10-20 см в девятикратной повторности.

Весной следующего года был проведен посев семян сосны, а выращивание сеянцев осуществлялось 2-3 года по стандартным технологиям, принятым в Нижнелиповском и Мушмаринском лесных питомниках [6]. В конце выращивания для определения биометрических показателей сеянцы выкапывали с одного погонного метра строки каждой повторности. Выкопка сеянцев производилась по методике Смирнова [7]. В лабораторных условиях растения тщательно отмывали от почвы и измеряли с определением линейных размеров (высоты стволика, текущего прироста, диаметра шейки корня) и биомассы отдельных органов (стволиков, хвои, корней).

Результаты исследований. Известно, что интенсивность компостирования органических материалов напрямую зависит от состава и численности микроорганизмов, участвующих в биодеградации органического вещества [8]. Исследования микрофлоры нетрадиционных удобрений, полученных при введении биоактивизирующих добавок при формировании компостных смесей (мезофильная стадия), показали стимулирующее влияние биопрепаратов на развитие микроорганизмов (табл. 1). Общее количество микроорганизмов во всех вариантах опыта увеличилось по сравнению с контролем в 0,60-1,75 раз. Наибольший прирост численности микроорганизмов наблюдается в варианте с внесением АРС совместно с АПМ.

Доминирующей группой микроорганизмов в компостах являются сапротрофы с гетеротрофным типом питания. Внесение биоактивизирующих добавок способствовало увеличению их численности в 1,6-2,8 раза по сравнению с удобрением без их использования. Численность олигонитрофилов, завершающих минерализацию, также увеличилась в 2,2-4,6 раза. Это свидетельствует об интенсификации процессов минерализации органического вещества.

Резкое (более чем в 20 раз) возрастание количества аммонификаторов говорит о интенсивном усвоении азота органических соединений. Вместе с тем, при использова-

Т а б л и ц а 1

Влияние введения биологических добавок в компостируемую смесь органических отходов на микрофлору нетрадиционных удобрений из осадков сточных вод и гидролизного лигнина

Наименование групп микроорганизмов	Количество, млн. клеток на 1 г при внесении биологических добавок			
	без внесения (контроль)	АРС	АРС и АПМ	АРС, АПМ и азотовит
Сапротрофы	35,55	56,82	100,0	56,82
Актиномицеты	2,41	3,05	2,51	2,58
Грибы	0,142	0,147	0,232	0,276
Олигонитрофилы	0,286	0,625	1,300	0,958
Аммонификаторы	0,055	1,137	1,224	1,176
Нитрификаторы	0,029	0,018	0,026	0,033
Маслянокислые	0,555	0,568	1,224	1,176
Денитрификаторы	0,133	0,273	1,224	2,353
Разлагающие клетчатку	0,082	0,118	0,096	0,192
Анаэробные фиксаторы азота	0,011	0,015	0,013	0,013

нии АРС и совместном внесении АРС, АПМ и азотовита наблюдается снижение численности нитрификаторов, что объясняется, по-видимому, неблагоприятной для их развития кислотностью среды. Оптимальное значение рН для нитрификаторов составляет 7,5-8,0 [9], а рН компостов не превышает 5,7.

Один и тот же вид микроорганизма в зависимости от конкретных условий окружающей среды может проводить процессы азотфиксации, денитрификации, аммонификации и нитрификации. Количество микроорганизмов может быть не пропорционально интенсивности протекающих с их участием процессов. Тем не менее, увеличение их численности может способствовать повышению потенциальной биологической активности почвы при внесении в нее исследуемых компостов.

Биопрепараты незначительно повлияли на численность актиномицетов. Это можно рассматривать как положительное явление, т. к. в некоторых случаях они могут синтезировать фитотоксичные вещества и явиться причиной ухудшения почвенной экологии [10]. Наиболее стимулирующее действие на численность и состав микрофлоры нетрадиционных удобрений оказало внесение АРС совместно с АПМ.

Анализ экспериментального материала показал, что смешение осадков сточных вод очистных сооружений канализации и нейтрализованного гидролизного лигнина, относящихся к отходам различных по своим свойствам групп [2], позволяет оптимизировать свойства компостируемой смеси для интенсификации биодеградации органического вещества. При этом влажность компостируемых смесей находилась в пределах 65-70 %, а отношение углерода к азоту от 28:1 до 39:1. Введение биологических добавок в состав компостируемых смесей органических отходов на различных этапах компостирования не оказало существенного влияния на изменение кислотности и содержания общих форм азота фосфора и калия (табл. 2). Некоторые колебания данных показателей объясняются незначительной гетерогенностью субстрата.

Применение биологических добавок за счет изменения состава и численности микроорганизмов позволяет регулировать соотношение доступных и недоступных растениям форм элементов минерального питания (рис. 1). На мезофильной стадии биотермической переработки содержание нитратного азота достоверно повышается только при введении комплекса биологических добавок (АРС, АПМ и азотовита). В этом случае при завершении компостирования смеси органических отходов его содержание в 2,8 раза выше по сравнению с контролем. На стадии остывания существенное на 5 %

уровне значимости отличие в содержании нитратного азота от базового нетрадиционного органического удобрения (НОУ) отмечается только при использовании одного АРС, а на стадии созревания – при введении в состав смеси таких добавок, как АРС и АПМ, либо полного комплекта биологических добавок.

Т а б л и ц а 2

Влияние введения биоактивизирующих добавок в состав компостируемых смесей из осадков сточных вод и гидролизного лигнина на агрохимические показатели нетрадиционных органических удобрений (НОУ)

Стадия компостирования	Биологические добавки	рН _{сол.}	Содержание общих форм, %			С:N
			азота	фосфора	калия	
мезофильная	без внесения	5,7	1,15	0,63	0,25	31 : 1
	АРС	5,4	1,15	0,66	0,22	34 : 1
	АРС и АПМ	5,3	1,30	0,66	0,22	28 : 1
	АРС, АПМ и азотовит	5,2	1,26	0,70	0,18	30 : 1
остывания	без внесения	5,5	0,70	0,4	0,33	39 : 1
	АРС	5,7	1,00	0,57	0,27	28 : 1
	АРС и АПМ	5,6	0,80	0,59	0,34	35 : 1
	АРС, АПМ и азотовит	5,7	0,90	0,56	0,34	28 : 1
созревания	без внесения	6,5	0,46	0,41	0,24	-
	АРС	6,6	0,37	0,68	0,16	-
	АРС и АПМ	6,7	0,19	0,72	0,13	-
	АРС, АПМ и азотовит	6,8	0,19	0,81	0,16	-

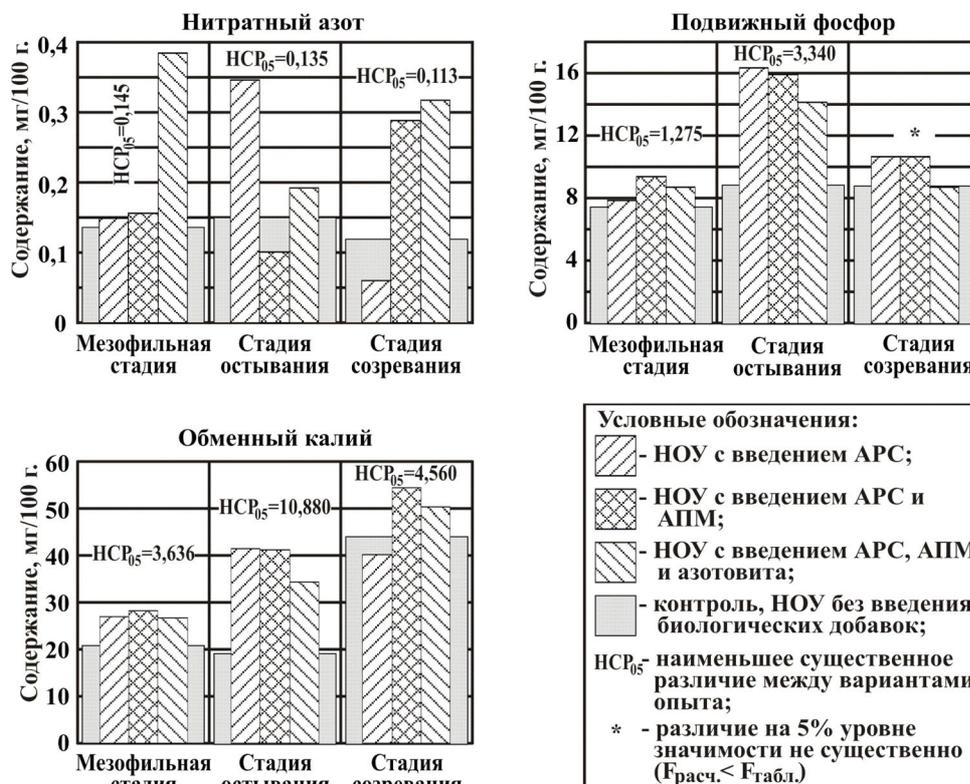


Рис. 1. Влияние введения биоактивизирующих добавок в состав компостируемых смесей из осадков сточных вод и гидролизного лигнина на содержание подвижных форм элементов минерального питания в нетрадиционных органических удобрениях

Одним из основных условий интенсификации лесопитомнического дела является сохранение и поддержание общего плодородия почв лесных питомников на достаточно высоком уровне. Проблема оптимизации агрохимических и агрофизических свойств почвы не может быть решена без использования органических удобрений, в том числе и нетрадиционных. Компосты, полученные с использованием биоактивизирующих добавок, вносились в почву посевного отделения Нижнелиповского лесопитомника Кададинского ОЛХ.

Обогащение почвы нетрадиционными органическими удобрениями отразилось на водно-физических свойствах пахотного горизонта. Влажность почвы увеличилась на 1,4-1,6 %, а плотность сложения приблизилась к оптимальным значениям (1,00 – 1,15 г/см) в верхнем горизонте (0-10 см), на глубине 10 - 20 см плотность сложения не изменилась. В то же время использование биологических добавок при производстве нетрадиционных удобрений не оказывает существенной роли по влиянию на данные показатели почвы питомника (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Влияние внесения нетрадиционных удобрений, полученных с использованием биоактивизирующих добавок, на водно-физические свойства серой лесной почвы (Нижнелиповский лесопитомник Кададинского ОЛХ Пензенской области, поле №1)

Вариант опыта	Объемный вес, г/см ³		Влажность, %	
	0-10	10-20	0-10	10-20
Без внесения удобрения	1,33	1,45	9,24	10,03
НОУ без биологических добавок	1,05	1,41	10,65	11,47
НОУ с АРС	1,08	1,49	10,79	11,55
НОУ с АРС и АПМ	1,12	1,38	10,82	11,50
НОУ с АРС, АПМ и азотовитом	1,06	1,46	10,75	11,49
НСР ₀₅	0,098	*	0,646	0,566

Примечание: * различие между вариантами опыта на 5 % уровне значимости не существенно (Fтабл.>Fрасч.).

Внесение компостируемых смесей, модифицированных биоактивизирующими добавками на мезофильной стадии, в светло-серую супесчаную почву на многочисленных наносах, на статистически достоверном уровне повысило лишь содержание в почве органического вещества, в то время как остальные агрохимические показатели практически не изменились (табл. 4). При использовании в качестве мелиорантов нетрадиционных удобрений с введением в их состав биоактивизирующих добавок на стадии остывания установлено, что независимо от варианта опыта дополнительно почти в два раза увеличилось содержание подвижного фосфора. Отмечается тенденция к повышению содержания обменного калия при внесении НОУ, модифицированного комплексом биоактивизирующих добавок (АРС, АПМ и азотовитом): по сравнению с участками, где применялись не модифицированные биоактивизирующими добавками НОУ более чем в 1,3 раза.

Испытание нетрадиционных удобрений, полученных с введением биоактивизирующих добавок на стадии созревания компостной смеси, на дерново-подзолистой связанно-песчаной почве Мушмаринского лесного питомника достоверно повысило содержание нитратного азота лишь при внесении НОУ, полученного при использовании АРС и АПМ. В остальных вариантах опыта различия не существенны.

Таким образом, использование нетрадиционных органических удобрений в лесных питомниках позволяет повысить содержание органического вещества в почве. Приме-

нением сочетания биоактивизирующих добавок при производстве компостов из органических отходов на стадии остывания (АРС, АПМ и азотовит) можно увеличить содержание в почве обменного калия, а введением АРС и АПМ на стадии созревания – нитратного азота.

Таблица 4

Влияние внесения НОУ, модифицированных биоактивизирующими добавками, на агрохимические свойства почв лесных питомников

Вариант	Биоактивизирующие добавки	Содержание гумуса, %	pH _{сол.}	Содержание, мг/100 г		
				N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Поле №1 Нижнелиповского питомника Кададинского ОЛХ (Пензенская область)						
Контроль (без внесения НОУ)		1,22	5,1	0,16	26,5	7,0
120 т/га НОУ с введением биоактивизирующих добавок на мезофильной стадии	без внесения биодобавок	1,99	5,1	0,24	25,3	7,1
	АРС	2,23	4,9	0,20	28,5	7,2
	АРС и АПМ	2,89	5,0	0,32	30,1	8,1
	АРС, АПМ и азотовит	2,02	4,9	0,24	33,9	6,6
		<i>HCP₀₅</i>	0,949	*	*	*
Поле №3 Нижнелиповского питомника Кададинского ОЛХ (Пензенская область)						
Контроль (без внесения НОУ)		2,28	6,1	7,76	25,7	17,6
120 т/га НОУ с введением биоактивизирующих добавок на стадии остывания	без внесения биодобавок	3,14	6,0	7,82	52,1	17,8
	АРС	3,18	5,9	5,50	52,5	18,7
	АРС и АПМ	4,14	6,0	7,61	52,1	18,0
	АРС, АПМ и азотовит	3,35	6,1	5,35	51,6	23,3
		<i>HCP₀₅</i>	1,570	*	*	*
Поле №20 Мушмаринского лесного питомника (Республика Марий Эл)						
Контроль (без внесения НОУ)		-	5,9	0,87	13,6	4,6
120 т/га НОУ с введением биоактивизирующих добавок на стадии созревания	без внесения биодобавок	-	6,1	0,88	14,8	6,8
	АРС	-	6,0	0,81	17,9	7,7
	АРС и АПМ	-	6,0	1,26	17,2	6,3
	АРС, АПМ и азотовит	-	6,0	0,81	13,8	5,4
		<i>HCP₀₅</i>	-	*	0,110	*

Примечание: * различие между вариантами опыта на 5 % уровне значимости не существенно (Fтабл.>Fрасч.).

Совместное введение в состав компостной смеси АРС, АПМ и азотовита, как на мезофильной стадии, так и на стадии остывания и внесение ее в почву питомника позволяет получить максимальные значения высоты стволика молодых древесных растений. Ее значение в 1,3 раза выше, чем у сеянцев, полученных без применения НОУ и на 13-17 % больше, чем у посадочного материала, полученного на участках с использованием не модифицированного биологическими добавками удобрения (рис. 2). Несколько меньшие результаты получены при использовании в качестве биологической добавки одного АРС.

Биомасса надземной части сеянцев сосны также оказалась выше по сравнению с другими вариантами опыта при внесении НОУ, полученного с введением комплекса биоактивизирующих добавок (АРС, АПМ и азотовит) и на мезофильной стадии компостирования, и на стадии остывания. Вместе с тем установлено, что при использовании нетрадиционного компоста, полученного при введении биоактивизирующих добавок на мезофильной стадии компостирования, биомасса корневой системы сеянцев сосны снижается по сравнению с массой подземной части растений, выращенных на участках, удобренных НОУ без биоактивизирующих добавок. Внесение в почву нетрадиционного мелиоранта, полученного с введением АРС, АПМ и азотовита на стадии остывания компостируемой смеси, напротив, позволило увеличить массу корней по сравнению с контролем (внесены не модифицированные биоактивизирующими добавками удобрения).

Установлено, что внесение нетрадиционных удобрений позволяет повысить как общий выход сеянцев с единицы площади посевного отделения лесного питомника, так и выход стандартного посадочного материала. По сравнению с контролем, где компосты из органических отходов не вносились, при одинаковой норме высева семян и агротехнике выращивания посадочного материала, общее количество растений при использовании мелиорантов оказалось выше в 1,5-2,0, а стандартных сеянцев в 1,7-2,0 раза (рис. 3).

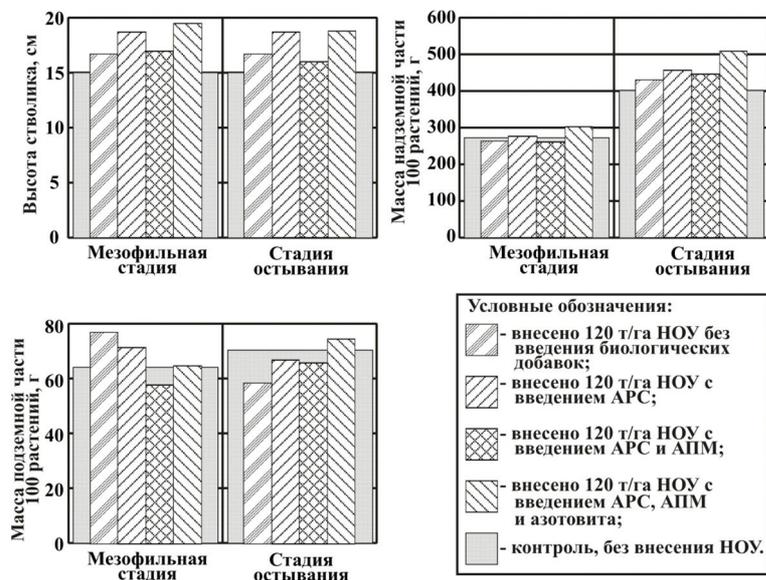


Рис. 2. Влияние внесения в почву НОУ, модифицированных биоактивизирующими добавками на мезофильной стадии компостирования и стадии остывания, на рост двухлетних сеянцев сосны обыкновенной

За счет улучшения свойств нетрадиционных удобрений при введении активатора разложения стерни совместно с активатором почвенной микрофлоры в компостные смеси на мезофильной стадии и стадии остывания на 34-37 % увеличился общий выход молодых древесных растений в сравнении с участками, где производилось внесение НОУ, не модифицированного биоактиваторами. Выход стандартного посадочного материала повысился не столь значительно – на 19 %. Это связано с тем, что при более высокой сохранности сеянцев на данных участках снизилась площадь питания отдельно взятого растения, а это в свою очередь не способствовало эффективному накоплению биомассы и росту сеянцев сосны (рис. 2).

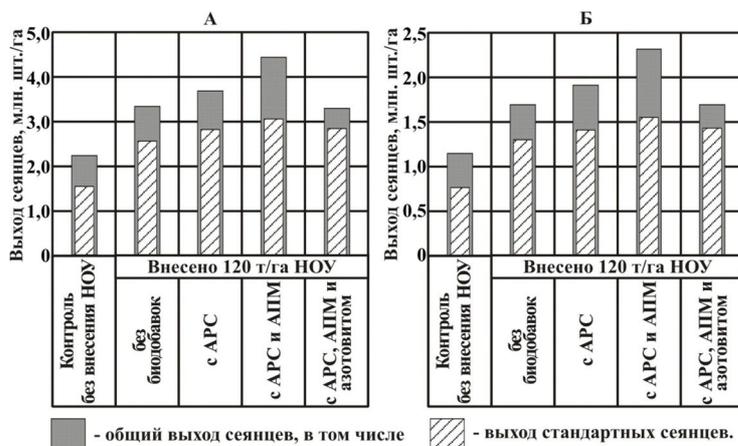


Рис. 3. Влияние внесения НОУ, модифицированных биоактивизирующими добавками на мезофильной стадии (А) и стадии остывания (Б) компостной смеси, на выход двухлетних сеянцев сосны обыкновенной

Внесение нетрадиционных удобрений, при производстве которых использовался только АРС, в меньшей степени повлияло на увеличение общего выхода посадочного материала и стандартных сеянцев сосны по сравнению с вариантом, где применялись НОУ, не модифицированные биологическими добавками. Дополнительное введение в состав нетрадиционного удобрения азотовита, напротив, снижает выход растений как общий, так и стандартных сеянцев.

Таким образом, применение модифицированных АРС и АПМ компостов из органических отходов позволяет повысить выход стандартных сеянцев сосны с единицы площади посевного отделения питомника. Дополнительное введение в состав смеси отходов азотовита на мезофильной стадии компостирования и стадии остывания нецелесообразно, так как при использовании таких удобрений существенно снижается сохранность молодых древесных растений и выход стандартного посадочного материала.

Выводы

1. Введение в компостируемую смесь органических отходов из осадков сточных вод очистных сооружений канализации и нейтрализованного гидролизного лигнина биоактивизирующих добавок позволяет изменить численность и состав микрофлоры нетрадиционных удобрений. Наиболее сильно на увеличение численности и состава микрофлоры нетрадиционных удобрений оказывает внесение активатора почвенной микрофлоры. При использовании азотовита возрастает количество микроорганизмов, относящихся к группе денитрификаторов и существует опасность потери доступного для растений азота в процессе производства нетрадиционных удобрений.

2. Введение биоактивизирующих добавок в компостную смесь органических отходов является эффективным приемом для перевода питательных веществ нетрадиционных удобрений в доступные для растений формы. Наиболее действенным для увеличения содержания доступных растениям форм азота, фосфора и калия в готовом удобрении является внесение активатора разложения стерни на стадии остывания компостируемой смеси отходов. Дополнительное внесение активатора почвенной микрофлоры на стадии созревания компоста позволяет увеличить содержание обменного калия, а модификация азотовитом – нитратного азота.

3. Внесение нетрадиционных компостов в почву в дозе 80 т/га (по сухому веществу) позволяет повысить содержание в ней органического вещества в 1,4-2,4 раза. Применение удобрений из органических отходов, модифицированных биоактивизирующими добавками, в качестве почвенных мелиорантов достоверно не обеспечило повышение содержания в пахотном горизонте почвы лесных питомников подвижных форм элементов минерального питания растений. Исключением является использование НОУ, при производстве которого на стадии созревания были внесены АРС и АПМ. Применение данного удобрения обеспечивает повышение уровня содержания нитратного азота в почве на 43 % больше, чем при использовании не модифицированного биоактивизирующими добавками удобрения.

4. За счет повышения содержания гумуса, изменения численности и состава микрофлоры почв лесных питомников при использовании нетрадиционных органических удобрений, модифицированных биоактивизирующими добавками, увеличиваются линейные размеры и биомасса сеянцев сосны обыкновенной. Наибольшие значения высоты стволика, диаметра шейки корня и массы надземной части имели растения, выращивание которых осуществлялось при внесении 120 т/га нетрадиционных мелиорантов, модифицированных АРС и комплексом биологических добавок (АРС, АПМ и азотовитом). Максимальный общий выход молодых древесных растений и выход стандартного посадочного материала с единицы площади посевного отделения был получен при использовании компостов с АРС и АПМ.

В целом, можно сделать вывод о том, что для выращивания сеянцев сосны в лесных питомниках можно применять нетрадиционные удобрения из органических отходов, модифицированных биоактиваторами: на мезофильной стадии и стадии остывания активатором разложения стерни, а на стадии созревания – активатором почвенной микрофлоры.

Список литературы

1. Романов, Е.М. Выращивание сеянцев древесных растений: биоэкологические и агротехнологические аспекты / Е.М. Романов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2000. – 500 с.
2. Мухортов, Д.И. Оптимизация технологических параметров производства нетрадиционных органических удобрений в лесных питомниках / Д.И. Мухортов, Е.М. Романов, А.А. Мамаев // Лесное хозяйство. – 2011. – № 3. – С. 21-23.
3. Орлова, О.В. Ускорение дозревания компоста из ТБО при введении активирующих биоорганических добавок / О.В. Орлова, Н.А. Петухова, И.А. Архипченко // Экология и промышленность России. – 2008. – № 10. – С. 38-40.
4. Родин, А. Р. Высокоэффективные биопрепараты для лесных питомников / А.Р. Родин, Н.Я. Попова, Е.В. Кандыба // Лесное хозяйство. – 1997. – № 1. – С.28-30.
5. Романов, Е.М. Лесные культуры. Производство и применение нетрадиционных органических удобрений в лесных питомниках / Е.М. Романов, Т.В. Нуреева, Д.И. Мухортов. – Йошкар-Ола: МарГТУ. – 2001. – 155 с.
6. Наставление по выращиванию посадочного материала древесных и кустарниковых пород в лесных питомниках РСФСР. – М.: «Лесная промышленность», 1979. – 175 с.
7. Смирнов, Н.А. Методика полевого опыта по агротехнике выращивания сеянцев в лесном питомнике / Н.А. Смирнов. – Пушкино: ВНИИЛМ, 1969. – 36 с.
8. Форстер, К.Ф. Экологическая биотехнология / К.Ф. Форстер, Д.А. Дж. Вейзер. – Л.: Химия, 1990. – 384 с.
9. Мишустин, Е.Н. Микробиология / Е.Н. Мишустин, В.Т. Емцев. – М.: Агропромиздат, 1987. – 368 с.
10. Звягинцев, Д.Г. Почва и микроорганизмы / Д.Г. Звягинцев. – М.: МГУ, 1987. – 256 с.

Статья поступила в редакцию 08.06.12.

Статья подготовлена в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» по теме «Разработка инновационной системы эффективного устойчивого лесопользования и лесовосстановления на ландшафтно-типологической основе с использованием адаптивно-модульных образцов техники и инфотелекоммуникационных методов мониторинга» с использованием оборудования лабораторий ЦКП «ЭБЭЭ» ФГБОУ ВПО «ИГТУ».

*E. M. Romanov, D. I. Mukhortov,
S. S. Gordeeva, E. V. Micheeva*

BIOACTIVATING ADDITIVES USE WHEN ORGANIC WASTES PROCESSING INTO NONTRADITIONAL ORGANICS

The research results in nontraditional organics realization from organic wastes with the advent of compost mixture of bioactivating additives are presented. Characteristics of new mixtures are offered. The seedlings of Scotch pine, grown with the use of modified compost in tree nurseries of the Volga region are obtained.

Key words: *sewage sludges, hydrolized lignin, bioactivating additives, nontraditional organics, seedling of Scotch pine.*

Романов Евгений Михайлович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ, ректор Поволжского государственного технологического университета (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – искусственное лесовосстановление. Автор более 150 публикаций.

E-mail: RomanovEM@volgatech.net

Мухортов Дмитрий Иванович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ Поволжского государственного технологического университета (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – применение органических отходов при лесовосстановлении. Автор 83 публикаций.

E-mail: MuxortovDI@volgatech.net

Гордеева Светлана Станиславовна – аспирант кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ Поволжского государственного технологического университета (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – искусственное лесовосстановление, биотехнология, почвенная микробиология. Автор 11 публикаций.

E-mail: klk@volgatech.net

Мичеева Эльвира Владимировна – аспирант кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ Поволжского государственного технологического университета (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – биотехнологические методы переработки органических отходов. Автор 10 публикаций.

E-mail: MicheevaEV@volgatech.net

УДК 581. 526.33 + 630*181

*Ю. П. Демаков, С. М. Швецов, М. И. Майшанова***ИЗМЕНЕНИЕ ЗОЛЬНОГО СОСТАВА ХВОИ, КОРЫ И ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ В ЗОНЕ ВЫБРОСОВ ЗАВОДА СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА**

Приведены данные, характеризующие изменение зольного состава хвои, коры и древесины сосны обыкновенной по градиенту загрязнения среды атмосферными выбросами Марийского завода силикатного кирпича. Установлено, что лучшими индикаторными способностями по оценке ответных реакций деревьев на загрязнение окружающей среды обладает хвоя, однако для оценки химического состава выбросов пыли и ареала их распространения лучше всего использовать полотнища хлопчатобумажной ткани.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, хвоя, кора, древесина, зольный состав, выбросы известковой пыли.

Введение. Проблема оценки изменения состояния природной среды под воздействием техногенных загрязнителей, возникшая во второй половине XX столетия в связи с ускоренным ростом во всем мире промышленного производства, потребовала, прежде всего, разработки и совершенствования методов натуральных и экспериментальных исследований, позволяющих просто и надежно оценивать не только концентрацию загрязняющих веществ в экосистемах, но и реакцию на них биоты. Много работ посвящено изучению влияния на лесные экосистемы техногенных загрязнителей, имеющих кислую химическую реакцию [1–4]. Значительно слабее изучено влияние промышленных щелочных загрязнений [5] и очень мало данных о влиянии на лес длительного загрязнения выбросами силикатного производства [6], крайне востребованного в настоящее время в связи с активным градостроительством. Лесные экосистемы, обладая значительными поглотительными возможностями, во многих случаях могут противостоять техногенной нагрузке, но имеют определенные пороги устойчивости, установить которые позволяет метод биоиндикации, основанный на оценке содержания микроэлементов в различных тканях растений. При ведении экологического мониторинга за состоянием лесных биогеоценозов чаще всего анализируют зольный состав ассимиляционного аппарата деревьев, чутко реагирующего на различные внешние воздействия [7–13], значительно реже используют для этой цели кору и древесину.

Цель работы – оценить влияние выбросов завода силикатного кирпича на зольный состав хвои, коры и древесины сосны обыкновенной, косвенно отражающий протекание биохимических процессов, на избирательность поглощения химических элементов из окружающей среды различными структурами деревьев, морфометрические параметры хвои и степень ее повреждения известковой пылью.

Объекты и методика исследования. Исходный материал собран в 2011 году на шести пробных площадях в сосняках, произрастающих в ТЛУ А₁₋₂ и удаленных на различное расстояние к северу от Марийского завода силикатного кирпича (квартал 27 Силикатного участкового лесничества Республики Марий Эл), который действует с 1953 года. На каждой пробной площадке взяты образцы хвои, коры и древесины сосны обыкновенной. Для отбора образцов хвои, у которой измеряли не только химические,

но и морфометрические параметры, на каждой пробной площади было срублено по пять средних по размерам модельных деревьев, с которых из центральной части кроны взято по пять веток. Оценку степени повреждения хвои проводили по 7-балльной шкале [8] на основе осмотра 100 пар хвоинок и последующего вычисления среднего балла.

Отбор образцов коры проводили на каждой пробной площади у 10 деревьев, используя высечку для пыжей. Для отбора образцов древесины у этих деревьев использовали возрастную буров Пресслера. Для оценки интенсивности аэральных выпадений пыли и ее зольного состава использовали полотнища хлопчатобумажной ткани, которыми обвязывали стволы деревьев на высоте 2,5-3 м.

Образцы хвои, коры и древесины, а также тканевых повязок, провисевших в лесу в течение пяти месяцев (с мая по сентябрь), высушивали до абсолютно сухого состояния при температуре 105°C, взвешивали, измельчали и сжигали в муфельной печи при температуре 450°C. Полученную золу взвешивали и определяли на атомно-абсорбционном спектрометре АAnalyst-400 содержание различных металлов, используя для расчетов формулу $C_Э = C_P \cdot V_P \cdot M_З / M_H \cdot M_C$, где $C_Э$ – содержание элемента в сухом образце, мг/кг; C_P – концентрация элемента в растворе, мг/л; V_P – объем раствора, в котором была растворена зола, $M_З$ – масса золы, г; M_H – масса навески, г; M_C – масса высушенного образца, г. Пробоподготовку образцов и процедуру химического анализа проводили по типовым методикам [14, 15]. Цифровой материал обработан на ПК с использованием стандартных методов математической статистики.

Результаты и обсуждение. Химический анализ показал, что в аэральных выбросах завода присутствует большой набор компонентов, основным из которых является, исходя из специфики производства, кальций. Его содержание в образцах ткани, находившихся на расстоянии 80 м от завода, в 172,5 раза выше, чем на фоновом участке (табл. 1). На втором месте по превышению концентрации над фоном находится стронций. Концентрация остальных металлов на прилегающем к заводу участке в 2,42–7,19 раза выше по сравнению с фоном. Содержание большинства зольных элементов в образцах ткани четко убывает по мере удаления от завода и стабилизация происходит на расстоянии 400–700 м от него. Данной закономерности не подчиняются только марганец и никель, концентрация которых наиболее велика на расстоянии 280–340 м. Содержание большинства зольных элементов в образцах ткани, за исключением марганца и никеля, очень тесно связано между собой.

Таблица 1

Изменение содержания зольных элементов в образцах ткани по градиенту загрязнения

Элемент	Содержание элементов по отношению к фону на разном удалении от завода, доли ед.							Фоновое содержание, мг / кг
	80 м	100 м	130 м	190 м	280 м	340 м	390 м	
Ca	172,5	141,1	79,0	50,9	45,7	31,6	13,6	238,9
Sr	72,8	47,9	22,0	19,2	13,1	4,56	4,78	0,50
Co	7,19	4,68	2,99	2,61	2,17	1,61	1,55	0,16
Cd	6,30	3,96	2,65	2,28	2,05	1,81	1,47	0,06
Fe	6,23	4,49	3,32	2,52	2,19	1,50	1,39	47,4
Pb	4,88	3,67	2,27	2,05	1,74	1,25	1,37	0,45
Mn	4,74	4,26	3,96	2,95	5,24	3,25	4,44	2,17
Ni	4,47	3,51	2,12	1,89	1,67	5,66	1,21	0,12
Zn	4,40	3,47	3,44	2,50	2,63	1,78	2,67	1,17
K	2,54	1,89	2,27	1,66	1,36	1,03	1,43	31,1
Cu	2,42	2,09	2,03	1,19	1,42	1,26	1,01	0,77

Хвоя деревьев, как показали исследования, обладает избирательной способностью поглощения химических элементов из окружающей среды. Так, содержание калия в хвое в 68,3 раза больше, чем в образцах ткани (табл. 2). Гораздо выше в хвое также концентрация цинка, никеля, меди, кобальта и свинца. По мере удаления от завода и снижения степени загрязнения среды величина соотношения в большинстве случаев существенно увеличивается. Это свидетельствует о том, что данные элементы дерева извлекают в основном из почвы, а не из выпадающей пыли. Содержание кадмия и железа в хвое, наоборот, ниже, чем в образцах ткани, особенно в зоне сильного загрязнения. Менее всего растения извлекают из выпадающей пыли стронций, который вместе с избытком кальция поступает в почву.

Таблица 2

Градиентное изменение значений коэффициента избирательности поглощения химических элементов из выпадающей пыли и накопления их в однолетней хвое

Элемент	Содержание элементов в хвое по отношению к ткани на разном удалении от завода, доли ед.					
	100 м	130 м	190 м	280 м	340 м	Фон – 1100 м
K	68,3	55,0	81,3	89,7	108,7	117,9
Zn	9,26	7,30	9,50	6,50	10,18	20,85
Ni	2,31	2,63	4,45	3,03	0,89	8,26
Cu	1,71	1,83	2,76	2,69	7,99	2,76
Co	1,56	2,72	2,93	3,72	5,38	8,65
Pb	1,25	2,03	1,73	2,37	2,54	3,80
Mn	0,58	0,70	1,42	2,01	2,61	16,82
Cd	0,43	0,52	0,37	0,41	0,40	0,60
Fe	0,41	0,45	0,56	0,58	0,77	1,08
Ca	0,31	0,39	0,25	0,26	0,46	13,08
Sr	0,08	0,15	0,05	0,07	0,18	0,68

Об избирательности извлечения деревьями зольных элементов из окружающей среды свидетельствует также снижение, по сравнению с образцами ткани, являющейся пассивным абсорбентом выпадающей пыли, тесноты связи между содержанием в хвое большинства металлов (табл. 3). Установлено, что повышенное содержание кальция в зоне воздействия завода силикатного кирпича приводит к снижению концентрации в хвое марганца и кобальта, но способствует накоплению стронция, кадмия и железа.

Таблица 3

Матрица коэффициентов корреляции между содержанием зольных элементов в сосновой хвое

Элемент	Значение коэффициента парной корреляции между элементами									
	Ca	K	Fe	Zn	Mn	Cu	Pb	Sr	Co	Ni
Ca	1,00									
K	-0,38	1,00								
Fe	0,83	-0,10	1,00							
Zn	0,62	0,19	0,59	1,00						
Mn	-0,55	0,02	-0,57	-0,17	1,00					
Cu	-0,36	0,34	-0,34	-0,26	-0,01	1,00				
Pb	0,64	-0,29	0,56	0,14	-0,30	-0,45	1,00			
Sr	0,96	-0,46	0,76	0,48	-0,57	-0,40	0,66	1,00		
Co	-0,55	0,27	-0,63	-0,25	0,47	0,30	-0,26	-0,44	1,00	
Ni	-0,22	0,44	-0,18	0,39	0,58	0,01	-0,16	-0,33	0,36	1,00
Cd	0,88	-0,53	0,65	0,48	-0,43	-0,45	0,64	0,89	-0,39	-0,17

Содержание в хвое золы и большинства элементов закономерно снижается по градиенту загрязнения (табл. 4). Наибольшее превышение в зоне загрязнения, по сравнению с фоновым уровнем, имеет стронций, хотя абсолютное содержание его в хвое очень мало. На втором месте в ранговом ряду элементов по их превышению над фоном находится кальций, абсолютное содержание которого в хвое самое большое, поскольку он является основой оболочки растительных клеток.

Таблица 4

Изменение по градиенту загрязнения содержания золы и зольных элементов в хвое

Элемент	Содержание элементов по отношению к фону на разном удалении от завода					Фоновое содержание элемента*
	100 м	130 м	190 м	280 м	340 м	
<i>Хвоя первого года жизни</i>						
Зола	1,71	1,54	1,09	1,04	1,01	2,02
Sr	5,86	4,92	1,32	1,36	1,23	0,341
Ca	3,40	2,38	0,97	0,90	1,11	3126,0
Cd	2,83	2,31	1,39	1,42	1,19	0,036
Fe	1,70	1,39	1,30	1,17	1,07	51,2
Zn	1,54	1,20	1,14	0,82	0,87	24,4
Cu	1,30	1,35	1,19	1,38	3,64	2,127
Pb	1,21	1,21	0,93	1,08	0,84	1,709
K	1,10	1,06	1,14	1,03	0,95	3665,5
Ni	0,98	0,67	1,02	0,61	0,61	0,991
Co	0,85	0,94	0,88	0,93	1,00	1,384
Mn	0,15	0,16	0,25	0,62	0,50	36,5
<i>Хвоя второго года жизни</i>						
Зола	1,54	1,59	0,97	1,04	0,99	2,26
Sr	3,52	3,80	1,23	1,18	1,68	0,880
Ca	2,81	2,66	1,03	1,04	1,35	4721,1
Cd	1,97	1,93	1,52	0,98	1,95	0,058
Fe	1,44	1,25	0,96	1,29	0,99	62,2
Ni	1,40	0,54	0,74	0,72	0,66	0,696
Pb	1,32	1,14	1,08	0,98	0,94	1,822
Zn	1,24	1,06	0,79	0,80	0,93	29,6
K	1,10	1,04	1,07	1,11	0,82	3083,3
Cu	1,10	1,20	1,18	1,22	1,36	1,555
Co	0,82	0,83	1,05	0,91	0,88	1,351
Mn	0,07	0,09	0,11	0,45	0,39	44,1
<i>Хвоя третьего года жизни</i>						
Зола	1,48	1,51	0,97	1,08	1,01	2,45
Sr	3,02	2,75	1,43	1,43	1,60	1,366
Ca	2,03	1,81	1,09	1,20	1,47	6592,8
Fe	1,44	1,20	1,06	1,16	1,26	62,10
Cd	1,39	1,24	0,67	0,93	0,97	0,107
Pb	1,30	0,96	1,02	1,36	0,85	2,149
Cu	1,24	0,97	1,30	1,19	1,14	1,469
Zn	1,01	0,99	0,74	0,64	0,83	29,40
Co	0,95	0,92	0,90	0,83	0,75	1,371
K	0,94	0,90	0,87	0,98	0,74	2966,1
Ni	0,23	0,10	0,17	0,08	0,10	1,909
Mn	0,06	0,05	0,08	0,26	0,22	49,80

Примечание: * содержание золы выражено в %, а зольных элементов – в мг/кг абсолютно сухого веса.

Значительно превышает фоновый уровень содержание в хвое, особенно однолетней, кадмия. Вблизи завода отмечается также повышенное содержание в хвое железа, цинка и свинца. Резко отличается от остальных элементов характер динамики марганца, который, являясь активным катализатором, повышает активность ферментных систем, ускоряет фотохимическое разложение воды, активизирует процессы синтеза витаминов, влияет на ассимиляцию нитратов и образование белков [16–18]. Содержание его в хвое неуклонно возрастает по мере удаления от источника загрязнения. Расстояние от источника загрязнения не оказывает в целом существенного влияния лишь на изменение содержания в хвое меди, кобальта и никеля. В двух- и трехлетней хвое на одном и том же расстоянии от завода содержится гораздо больше кальция, железа, свинца, а особенно стронция. В однолетней же хвое деревьев сосны, произрастающих в пределах всего градиента загрязнения, содержится гораздо больше марганца, а также калия, оказывающего положительное влияние на интенсивность ассимиляции углекислоты и регуляцию работы устьичного аппарата.

Морфометрические параметры хвои, как было установлено, изменяются по мере удаления от источника загрязнения незначительно и в целом бессистемно (табл. 5). Так, длина и масса однолетней хвои наибольших значений достигают на расстоянии 340 м от завода, а двух- и трехлетней – на 100–130 м. Степень повреждения хвои в пределах всей трансекты очень низкая, однако наиболее высокий балл отмечен не в зоне сильного загрязнения, как этого следовало бы ожидать, а на пятой точке.

Таблица 5

Изменение значений морфометрических параметров хвои по градиенту загрязнения

Параметр	Значение параметра на разном удалении от завода					
	100 м	130 м	190 м	280 м	340 м	1100 м
<i>Хвоя первого года жизни</i>						
Длина, мм	28,7	28,4	27,8	26,3	37,5	27,7
Масса 100 пар, г	1,62	1,27	1,09	0,87	1,76	1,22
Балл повреждения	1,07	1,08	1,08	1,12	1,26	1,03
<i>Хвоя второго года жизни</i>						
Длина, мм	48,2	52,2	50,5	44,3	50,6	44,5
Масса 100 пар, г	3,36	2,75	2,52	2,01	3,05	2,41
Балл повреждения	1,29	1,40	1,41	1,43	1,55	1,12
<i>Хвоя третьего года жизни</i>						
Длина, мм	60,5	56,6	57,4	50,3	55,4	56,0
Масса 100 пар, г	4,47	3,23	3,25	2,68	3,68	3,30
Балл повреждения	1,59	1,42	1,33	1,64	2,13	1,46

Связь между морфометрическими параметрами хвои и содержанием в ней большинства металлов слабая или же практически не выражена (табл. 6).

Тесная положительная связь существует только между длиной однолетней хвои и содержанием в ней меди, которая защищает хлорофилл от разрушения и входит в состав ферментов, принимающих участие в темновых реакциях фотосинтеза [16, 18]. Длина однолетней хвои обратно пропорциональна содержанию в ней калия и свинца, а двухлетней – марганца, однако теснота этих связей умеренная. Длина и масса трехлетней хвои прямо пропорциональны содержанию в ней цинка, железа и кальция.

Таблица 6

Связь между морфометрическими параметрами хвои и содержанием в ней зольных элементов

Параметр хвои	Значение коэффициента парной корреляции между параметрами хвои и элементами									
	Ca	K	Fe	Zn	Mn	Cu	Pb	Sr	Co	Ni
<i>Хвоя первого года жизни</i>										
Длина	-0,09	-0,62	-0,26	-0,24	-0,03	0,97	-0,60	-0,16	0,46	-0,40
Масса	0,47	-0,36	0,24	0,35	-0,26	0,66	-0,16	0,35	0,08	-0,03
Повреждение	-0,26	-0,58	-0,31	-0,49	-0,06	0,97	-0,59	-0,29	0,39	-0,69
<i>Хвоя второго года жизни</i>										
Длина	0,47	-0,31	-0,14	0,15	-0,72	0,50	0,26	0,55	-0,27	-0,38
Масса	0,70	-0,29	0,25	0,76	-0,46	0,11	0,61	0,66	-0,58	0,46
Повреждение	-0,02	-0,38	-0,08	-0,40	-0,55	0,98	-0,28	0,05	-0,26	-0,60
<i>Хвоя третьего года жизни</i>										
Длина	0,54	-0,14	0,41	0,71	-0,21	0,12	-0,18	0,57	0,50	0,14
Масса	0,68	-0,24	0,74	0,61	-0,22	0,22	0,01	0,61	0,21	0,02
Повреждение	0,16	-0,65	0,42	-0,16	-0,07	0,04	-0,23	-0,08	-0,77	-0,28

Содержание золы и большинства зольных элементов в образцах коры на прилегающем к заводу участке леса значительно превышает фоновый уровень (табл. 7). На первом месте по превышению концентрации над фоном находится, в отличие от образцов ткани и хвои, хром (в 9,33 раза), хотя абсолютное его содержание в коре очень мало. Велико также превышение содержания в коре железа (в 6,16 раза). Содержание кальция, который доминирует по массе в пылевых выбросах, превышает фоновый уровень в коре в 3,04–4,75 раза. В 1,9–2,28 раза выше фонового уровня на прилегающей к источнику загрязнения территории концентрация в коре деревьев свинца, стронция, калия, никеля и кобальта. Содержание меди немногим выше, а цинка, кадмия и марганца, наоборот, ниже, чем в фоне. Стабилизация содержания в коре большинства зольных элементов происходит на расстоянии 400–700 м от источника загрязнения, четко убывающая по мере удаления от него. Данной закономерности не подчиняются только кальций и кадмий, концентрация которых наиболее велика на расстоянии 190 м от завода.

Таблица 7

Изменение по градиенту загрязнения содержания золы и зольных элементов в коре деревьев

Элемент	Содержание элементов по отношению к фону на разном удалении от завода						Фоновое содержание элемента*
	100 м	130 м	190 м	280 м	340 м	390 м	
Зола	2,38	2,28	2,51	1,32	1,42	1,35	1,79
Cr	9,33	7,21	9,08	2,19	1,66	2,73	0,154
Fe	6,16	5,10	5,37	1,36	1,13	0,99	16,59
Ca	3,04	4,15	4,75	3,67	4,13	4,07	4349,0
Pb	2,28	2,23	2,24	1,12	1,53	1,23	0,505
Sr	2,15	2,01	1,70	0,94	0,89	0,89	12,39
K	1,97	1,99	1,16	1,69	0,98	0,71	121,1
Ni	1,96	1,92	1,44	1,08	1,15	0,51	0,096
Co	1,90	1,89	1,85	1,27	1,40	1,29	0,370
Cu	1,27	1,46	1,33	1,19	1,40	0,75	1,962
Zn	0,85	1,08	0,79	0,78	0,90	0,85	8,10
Cd	0,80	0,80	0,88	0,65	0,65	0,59	0,264
Mn	0,35	0,34	0,38	0,43	0,54	0,53	33,61

Примечание: * содержание золы выражено в %, а зольных элементов – в мг/кг абсолютно сухого веса.

Кора деревьев, как продукт деятельности камбия, с одной стороны, и как пористый инертный абсорбент, с другой, обладает избирательной способностью поглощения химических элементов из окружающей среды. В ней содержится гораздо больше калия, цинка и меди, чем в образцах хлопчатобумажной ткани, являющейся инертным поглотителем пыли. Степень избирательности поглощения элементов корой, однако, меньшая по сравнению с хвоей (табл. 8). Так, калия содержится в ней всего в 4,05 раза больше, чем в образцах ткани, а в хвое, как уже отмечалось, в 68,3 раза. По содержанию цинка значения коэффициента избирательности составляют 1,70 и 9,26 раза соответственно. В коре, по сравнению с образцами ткани, на прилегающем к заводу участке леса несколько выше также концентрация меди, марганца, хрома и стронция, а содержание кадмия, кобальта, свинца, железа, никеля и кальция, наоборот, ниже. Менее всего поглощается корой деревьев из выпадающей пыли кальция и никеля, избыток которых поступает в почву. По мере удаления от завода и снижения степени загрязнения среды величина соотношения концентрации элементов в коре и в образцах ткани в большинстве случаев существенно увеличивается. Это свидетельствует о том, что многие элементы поступают в кору деревьев в основном из почвы, а не за счет инертного поглощения выпадающей пыли. В коре, по сравнению с хвоей, содержится в пределах всего градиента загрязнения больше кадмия, кальция, а особенно стронция. Концентрация же остальных элементов, особенно калия, меньшая.

Таблица 8

Градиентное изменение значений коэффициента избирательности поглощения химических элементов из выпадающей пыли и накопления их в коре деревьев

Элемент	Значение содержания элементов в коре по отношению к ткани на разном удалении от завода						
	100 м	130 м	190 м	280 м	340 м	390 м	Фон – 1500 м
K	4,05	3,42	2,71	4,82	3,71	1,93	3,90
Zn	1,70	2,17	2,20	2,05	3,52	2,21	6,93
Cu	1,54	1,84	2,85	2,14	2,83	1,89	2,54
Mn	1,29	1,33	1,98	1,27	2,59	1,87	15,49
Cr	1,29	1,03	1,40	0,31	0,25	0,39	0,16
Sr	1,12	2,28	2,21	1,78	4,86	4,64	24,93
Cd	0,93	1,40	1,78	1,46	1,66	1,85	4,63
Co	0,93	1,45	1,62	1,33	1,98	1,90	2,28
Pb	0,69	1,09	1,22	0,72	1,37	1,00	1,12
Fe	0,48	0,54	0,75	0,22	0,26	0,25	0,35
Ni	0,44	0,72	0,60	0,51	0,16	0,33	0,79
Ca	0,39	0,96	1,70	1,46	2,38	5,43	18,20

Анализ полученного материала показал, что в древесине более всего содержится кальция (табл. 9), за которым с большим отставанием следуют калий и железо. Замыкают ранговый ряд кобальт, никель и кадмий. Содержание большинства зольных элементов на прилегающем к заводу участке леса незначительно отличается от фоновой уровня (табл. 10), что свидетельствует о большой избирательности их поглощения растениями из окружающей среды. Значительно превышает фоновый уровень содержание лишь свинца и никеля, отмечаемое на расстоянии 190–340 м от завода. Содержание марганца в древесине, как в хвое и коре деревьев, на фоновом участке леса значительно выше, чем в загрязненной зоне, что свидетельствует о неблагоприятных для растений эдафических условиях, так как они стремятся к большей аккумуляции этого элемента при недостатке в почве фосфора [19].

Таблица 9

Изменение по градиенту загрязнения содержания золы и зольных элементов в древесине сосен

Расстояние, м	Зола, %	Содержание элементов в древесине, мг / кг										
		Ca	K	Fe	Zn	Sr	Mn	Cu	Pb	Co	Ni	Cd
<i>Содержание элементов в древесине молодых деревьев на ЛЭП (возраст 35 лет)</i>												
100	0,52	1953,7	354,9	33,6	9,91	4,16	1,93	1,101	0,662	0,241	0,104	0,113
190	0,52	2133,4	234,4	26,2	6,17	3,68	2,11	1,306	0,622	0,230	0,057	0,106
340	0,52	2085,2	359,7	28,3	7,31	3,40	2,70	0,850	0,617	0,216	0,026	0,125
1100	0,50	2065,7	282,8	14,5	8,00	3,38	11,25	1,120	0,629	0,233	0,062	0,119
<i>Содержание элементов в древесине молодого поколения деревьев под пологом леса (возраст 60 лет)</i>												
80	0,31	2196,2	260,1	9,6	5,17	2,58	1,92	0,786	0,383	0,170	0,023	0,069
100	0,36	1589,4	258,9	14,0	6,24	3,02	4,70	0,924	0,621	0,163	0,246	0,114
190	0,34	1898,5	209,0	15,8	6,36	2,26	5,34	0,879	1,313	0,302	0,450	0,127
340	0,30	1438,6	174,4	7,6	5,58	2,05	14,89	0,905	0,854	0,164	0,765	0,114
1500	0,32	1532,2	201,7	16,9	7,68	2,79	25,60	0,862	0,370	0,150	0,128	0,147
<i>Содержание элементов в древесине старого поколения деревьев, образовавшейся до пуска завода (возраст 110 лет)</i>												
100	0,33	1465,2	195,3	8,3	7,45	4,95	20,01	1,231	0,406	0,138	0,103	0,199
340	0,35	1506,8	138,6	11,1	6,76	4,54	24,61	0,957	0,450	0,142	0,308	0,087
1500	0,26	1323,9	86,3	11,1	6,47	4,86	21,40	1,140	0,307	0,126	0,061	0,111
<i>Содержание элементов в древесине старого поколения деревьев, образовавшейся после пуска завода (возраст 110 лет)</i>												
100	0,31	1423,5	335,4	8,9	5,20	1,40	3,89	1,035	0,648	0,222	0,151	0,161
190	0,30	1310,5	265,5	10,5	4,60	2,26	8,90	0,894	0,348	0,134	0,390	0,111
340	0,37	1513,4	283,0	13,4	4,80	1,94	10,64	1,247	0,526	0,196	0,276	0,088
1500	0,29	1186,5	302,7	13,4	5,19	1,61	16,14	0,880	0,379	0,149	0,061	0,184

Таблица 10

Градиентное изменение отношения содержания зольных элементов в древесине сосен

Элемент	Содержание элементов по отношению к фону на разном удалении от завода				Фоновое содержание элемента*
	80 м	100 м	190 м	340 м	
Зола	0,97	1,13	1,06	0,94	0,32
Ca	1,43	1,04	1,24	0,94	1532,2
K	1,29	1,28	1,04	0,86	201,7
Fe	0,57	0,83	0,93	0,45	16,9
Zn	0,67	0,81	0,83	0,73	7,68
Sr	0,93	1,08	0,81	0,74	2,79
Mn	0,07	0,18	0,21	0,58	25,6
Cu	0,91	1,07	1,02	1,05	0,862
Pb	1,04	1,68	3,55	2,31	0,370
Co	1,13	1,09	2,01	1,09	0,150
Ni	0,18	1,92	3,52	5,98	0,128
Cd	0,47	0,78	0,86	0,78	0,147

Примечание: * содержание золы выражено в %, а зольных элементов – в мг/кг абсолютно сухого веса.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что содержание некоторых зольных элементов в древесине старых деревьев, образовавшейся до и после пуска завода, различно. Так, до пуска завода в древесине было меньше калия, свинца, кобальта и никеля, но больше цинка, стронция и особенно марганца, содержание которого не отличалось от фонового уровня. Содержание в древесине остальных зольных элементов, в том числе и кальция, не изменилось после пуска завода. В древесине, по сравнению с хвоей и корой, содержание золы и большинства зольных элементов значительно ниже. Исключением являются лишь стронций и кадмий.

Выводы

1. В аэральных выбросах завода силикатного кирпича присутствует большой набор химических элементов, основным из которых является кальций. Его содержание в образцах хлопчатобумажной ткани на расстоянии 80 м от завода в 172,5 раза выше, чем на фоновом участке. На втором месте по превышению концентрации над фоном находится стронций (в 72,8 раза). Содержание остальных металлов в ткани на прилегающем к заводу участке в 2,42–7,19 раза выше по сравнению с фоновым уровнем.

2. Деревья, как живые объекты, обладают избирательной способностью поглощения химических элементов из окружающей среды, в результате чего зольный состав хвои, коры и древесины существенно отличается от зольного состава выбросов пыли. Содержание в древесине золы и большинства зольных элементов значительно ниже, чем в хвое и коре. Исключением являются лишь стронций и кадмий, которых в древесине содержится больше, чем в хвое. В древесине, по сравнению с корой, больше содержится калия и цинка.

3. Длина однолетней хвои прямо пропорциональна содержанию в ней меди и обратно пропорциональна – калия и свинца, а двухлетней – марганца, однако теснота этих связей умеренная. Длина и масса трехлетней хвои прямо пропорциональны содержанию в ней цинка, железа и кальция. Связь между морфометрическими параметрами хвои и содержанием в ней других зольных элементов слабая или же практически отсутствует.

4. Повышенное содержание кальция в зоне воздействия завода силикатного кирпича приводит к резкому снижению концентрации во всех тканях деревьев сосны (хвое, коре и древесине) марганца, который является, исходя из этого, хорошим индикатором известкового загрязнения среды.

5. Лучшими индикаторными способностями по оценке ответных реакций деревьев на загрязнение окружающей среды обладает хвоя деревьев, однако для оценки химического состава выбросов пыли и ареала их распространения лучше всего использовать полотнища хлопчатобумажной ткани, располагая их на разном удалении от источника загрязнения.

Список литературы

1. Кулагин, Ю.З. Индустриальная дендрэкология и прогнозирование / Ю.З. Кулагин. – М.: Наука, 1985 – 118 с.
2. Ярмишко, В.Т. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) и ее сообщества в условиях атмосферного загрязнения на Европейском севере / В.Т. Ярмишко: Автореф. дисс. док. биол. наук. – СПб.: БИН РАН, 1994. – 36 с.
3. Цветков, В.Ф. Леса в условиях аэротехногенного загрязнения / В.Ф. Цветков, И.В. Цветков. – Архангельск, 2003. – 354 с.
4. Мартынюк, А.А. Сосновые экосистемы в условиях аэротехногенного загрязнения, их сохранение и реабилитация / А.А. Мартынюк: Автореф. дисс. ... док. с.-х. наук. – М.: МГУЛ, 2009. – 36 с.
5. Шелуха, В.П. Изменение сосновых биогеоценозов зоны широколиственных лесов при хроническом воздействии веществ щелочного типа / В.П. Шелуха: Автореф. дисс. ... док. с.-х. наук. – Брянск: БГИТА, 2003. – 34 с.
6. Алексеев, И.А. Влияние газопылевых выбросов на состояние сосновых биогеоценозов / И.А. Алексеев, А.Т. Сабиров, А.В. Михеев // Влияние атмосферного загрязнения и других антропогенных и природных факторов на дестабилизацию состояния лесов центральной и восточной Европы: Тез. докл. междунард. науч. конф. – М.: МЛТИ, 1996. – Т.1. – С. 41-43.
7. Ярмишко, В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на европейском Севере / В.Т. Ярмишко. – СПб.: Наука, 1997. – 210 с.
8. Ярмишко, В.Т. Крона дерева как индикатор его состояния в условиях техногенного загрязнения окружающей среды / В.Т. Ярмишко // Проблемы экологии растительных сообществ Севера. – СПб.: ООО «ВВМ», 2005. – С. 28-57.
9. Лянгузова, И.В. Содержание химических элементов в различных фракциях фитомассы сосны / И.В. Лянгузова // Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова. – Л.: Наука, 1990. – С. 48-55.
10. Лянгузова, И.В. Химический состав растений при атмосферном и почвенном загрязнении / И.В. Лянгузова, О.Г. Чертов // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. – Л.: Наука, 1990. – С. 75-87.
11. Лукина, Н.В. Химический состав хвои сосны на Кольском полуострове / Н.В. Лукина, В.В. Никонов, Х. Райтио // Лесоведение. – 1994. – № 6. – С. 10-21.
12. Никонов, В.В. Химический состав сосны на северном пределе распространения (Кольский полуостров) / В.В. Никонов, П.А. Баскова, И.И. Сизов // Дендрологические исследования в Заполярье. – Апатиты: КНЦ АН СССР, 1987. – С. 62-75.
13. Демаков, Ю.П. Хвоя как индикатор состояния сосновых молодняков на олиготрофных болотах / Ю.П. Демаков, М.Г. Сафин, Р.И. Винокурова, В.И. Таланцев, С.М. Швецов // Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2010. – № 3. – С. 95-107.
14. Методика выполнения измерений валового содержания меди, кадмия, цинка, свинца, никеля, марганца, кобальта, хрома методом атомно-абсорбционной спектроскопии. – М.: ФГУ ФЦАО, 2007. – 20 с.
15. Методы биогеохимического исследования растений / Под ред. А.И. Ермакова. Л.: Агропромиздат, 1987. – 450 с.
16. Крамер, Л. Физиология древесных растений / Л. Крамер, Т. Козловский. – М.: Гослесбумиздат, 1963. – 628 с.
17. Ахромейко А.И. Физиологические обоснования создания устойчивых лесных насаждений / А.И. Ахромейко. – М.: Лесная промышленность, 1965. – 312 с.

18. Смольянинов, И.И. Как и чем питается лес / И.И. Смольянинов, О.А. Климова. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 120 с.

19. Чагина, Е.Г. Биологический круговорот в сосняках разной продуктивности / Е.Г. Чагина // Почвенные факторы продуктивности сосняков. – Новосибирск: Наука, 1976. – С. 168-189.

Статья поступила в редакцию 20.04.12.

Работа выполнена в химической лаборатории Центра коллективного пользования научным оборудованием ПГТУ «Экология, биотехнологии и процессы получения экологически чистых энергоносителей».

Yu. P. Demakov, S. M. Shvetsov, M. I. Maishanova

ASH CONTENT CHANGES IN NEEDLE, RIND AND WOOD OF THE SCOTCH PINE WITHIN THE ZONE OF A SAND - LIME BRICK PLANT EMISSIONS

The data, characterizing ash content of needle, rind, wood of Scotch pine in accordance with the gradient of environment pollution with air emissions of the Sand -lime brick plant (Republic of Mari El) are given. It is determined that needles have the best indicative capacities in estimation of trees responses to environment pollution, but to make an estimation of chemical composition of dust emissions the best thing is to use cotton cloth.

Key words : *Scotch pine, needle, rind, wood, ash content, lime dust emissions.*

ДЕМАКОВ Юрий Петрович – доктор биологических наук, профессор кафедры управления природопользованием и лесозащиты Поволжского государственного технологического университета (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – биогеоценология, дендрохронология. Автор 238 работ, в том числе четырех монографий и пяти учебных пособий.

E-mail: DemakovYP@volgatech.net

ШВЕЦОВ Сергей Михайлович – лаборант кафедры химии, аспирант Поволжского государственного технологического университета (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – экология, биогеохимия. Автор семи публикаций.

E-mail: shvecov86@gmail.com

МАЙШАНОВА Маргарита Ивановна – аспирант Поволжского государственного технологического университета (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – экология, биогеоценология. Автор семи публикаций.

E-mail: maishanova@rambler.ru

УДК 630*18

О. С. Залывская, Н. А. Бабич

ШКАЛА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ДЕКОРАТИВНОСТИ ДЕРЕВЬЕВ И КУСТАРНИКОВ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ НА СЕВЕРЕ

На Севере важно увеличить зрительное разнообразие городских ландшафтов. Использование видов, обладающих наибольшей декоративностью, позволяет решить данную задачу. С целью расширения и уточнения методики оценки внешнего вида древесных и кустарниковых пород, применяемых для зелёного градостроительства, разработана данная шкала. Новизна её в том, что оценка зелёных насаждений города ведётся комплексно, т.е. по критериям (например, архитектура кроны, длительность и степень цветения, окраска и величина цветков, привлекательность внешнего вида плодов, длительность удержания плодов на ветвях, аромат цветков и плодов, цветовая гамма осенней окраски листьев, повреждённость растений, зимостойкость видов).

Ключевые слова: *декоративность, городские насаждения, интегральная оценка, интродукция растений.*

Введение. Растения – базовый компонент урбозкосистемы; они не только создают особый микроклимат, благоприятный для жизни людей, но и обеспечивают привлекательный декоративный облик города. К наиболее весомым показателям качеств растений относятся их защитные свойства, устойчивость к условиям среды и декоративность.

Существуют методики по оценке эстетичности открытых ландшафтов, пейзажей, лесных сообществ, привлекательности живого напочвенного покрова [1–3] и др. С помощью этих разработок характеризуется декоративный облик участков леса, открытые пространства и другие фитоценозы в естественных условиях. Имеются также работы по оценке отдельных признаков деревьев и кустарников (обилие цветения, зимостойкость, повреждённость растений и др.), отражая какой-то один параметр, они не затрагивают другие. Так, в работе А.А. Обрывковой [4] одним из основных диагностических показателей физиологического состояния деревьев, произрастающих в городских насаждениях, является возрастная декоративность, которая отражает изменения эстетических свойств растений в процессе онтогенеза. Для оценки качества городских насаждений предлагается применять разработанную оценочную шкалу декоративности, в основу которой положена динамика возрастных изменений основных признаков архитектуры кроны: её форма, структура и фактура. В работе В.А. Фроловой [5] шкала оценки эстетического состояния древесных растений на общегородских объектах озеленения не затрагивает цветения, а только санитарное состояние. Шкалы для комплексной оценки декоративности дендрофлоры в городских условиях нами не встречено.

Цель данной работы – расширение и уточнение уже имеющихся методик оценки степени декоративности древесных и кустарниковых пород, применяемых для зелёного градостроительства.

Объектами исследования стали зелёные насаждения г. Архангельска и других городов Архангельской области.

Методика работы. Новизна данной шкалы в том, что оценка зелёных насаждений города ведётся комплексно, т.е. по десяти критериям: архитектура кроны, длительность и степень цветения, окраска и величина цветков, привлекательность внешнего вида плодов, длительность удержания плодов на ветвях, аромат цветков и плодов, цветовая гамма осенней окраски листьев, повреждённость растений, зимостойкость видов. Схема методологии представлена на рисунке. Для характеристики деревьев и кустарников по этим критериям нами предлагается балльная оценка признаков от 0 до 5. Высший балл – 5 присваивается экземплярам, которые отличаются наиболее благоприятными свойствами, далее оценка снижается до 0 баллов.



*Схема методологии исследования декоративности зелёных насаждений в городских условиях
(* при равном количестве баллов предпочтение отдаётся растениям, цветки которых обладают приятным ароматом)*

Архитектоника кроны – строение и форма кроны – в летний и зимний периоды играет большую роль в декоративности вида. Различают естественную форму кроны и искусственную, полученную в результате обрезки (топиарное искусство). Все встречающиеся естественные формы крон древесных пород могут быть сведены к следующим: раскидистая (неправильная); пирамидальная (конусовидная, веретенообразная, колонновидная); овальная или эллипсоидальная (яйцевидная, обратнойцевидная); зонтичная; шаровидная (штамбовая, кустовая); плакучая; вьющаяся (лианообразная); стелющаяся; подушечная [6]. Оценка декоративности кроны производится по 4-балльной системе:

4 балла – растения отличаются чётко выраженной формой кроны, оригинальностью её строения;

3 балла – растения, сохранившие свой габитус, имеющие хорошо сформированные ствол и ветви кроны;

2 балла – растения с заметным угнетением и деформированной кроной, имеются сухие побеги и ветви, ствол повреждён;

1 балл – растения сильно угнетены, ветви отмирают на 60 – 70 %, крона сильно деформирована, ствол сильно повреждён.

Длительность цветения при условии неаллергичности пыльцы играет большую роль в эстетичности растения. По продолжительности цветения древесные породы разделены на следующие группы [6], оценивать которые мы предлагаем в баллах:

5 баллов – продолжительно цветущие (дольше 1 месяца);

4 балла – средней продолжительности цветения (2 недели – 1 месяц);

3 балла – непродолжительно цветущие (1–2 недели);

2 балла – короткоцветущие (до 1 недели);

1 балл – цветущие только при определённых условиях среды;

0 баллов – нецветущие в данных условиях.

Обилие цветения. Оценку обилия цветения в баллах, а в дальнейшем – образования завязей и ожидаемого урожая делают в период массового протекания этих фаз по общепринятой шкале (табл. 1).

Таблица 1

Шкала оценки цветения и плодоношения древесных растений [7]

Балл	Характеристика
0	Цветы, завязи, шишки и плоды отсутствуют
1	Цветы, завязи, шишки и плоды в небольшом количестве имеются на отдельных кустах и деревьях
2	Цветы, завязи, шишки и плоды в небольшом количестве имеются у многих кустов и деревьев
3	Цветы, завязи, шишки и плоды в достаточном количестве имеются у многих кустов и деревьев
4	Цветы, завязи, шишки и плоды имеются у большей части кустов и деревьев
5	Цветы, завязи, шишки и плоды в обильном количестве имеются у большей части кустов и деревьев

Окраска и величина цветков иногда является решающей декоративной деталью, особенно это относится к цветущим кустарникам. Дифференциация на баллы по этому критерию по нашему предложению такова:

5 баллов – цветки или соцветия весьма крупные (10 см и более), окраска заметно выражена, весьма привлекательна, не изменяется под действием солнечных лучей с момента распускания до опадения;

4 балла – цветки или соцветия крупные (5–10 см), окраска привлекательная;

3 балла – цветки или соцветия небольшие (2–5 см), окраска тусклая;

2 балла – цветки или соцветия мелкие (до 2 см), невзрачные;

1 балл – цветки практически незаметны, ослабленные или пониклые;

0 баллов – цветков в данных условиях нет.

Привлекательность внешнего вида плодов и длительность удержания их на ветвях оцениваются по сочетанию формы, характеру поверхности плодов и пр. Оценка:

5 баллов – плоды очень красивые без повреждений и болезней, размеры от средних до крупных, мелкие плоды встречаются редко, форма правильная, поверхность гладкая без сильной ребристости с красивой покровной тканью, плоды несколько месяцев удерживаются на ветвях;

4 балла – красивые плоды, допускаются незначительные повреждения вредителями, не всегда правильной формы, поверхность гладкая, слаборебристая, плоды сохраняются на ветвях 2–3 месяца;

3 балла – плоды удовлетворительного вида, имеются повреждения болезнями и вредителями, размеры от средних до мелких, форма неправильная, поверхность ребристая или бугристая, длительность удержания плодов на ветвях не превышает двух месяцев;

2 балла – плоды некрасивые, мелкие, форма неприглядная, повреждены болезнями и вредителями;

1 балл – плоды очень мелкие и некрасивые, окраска нехарактерная для вида, сильно повреждены вредителями и болезнями [6].

Цветовая гамма осенней окраски листьев многих древесных пород заслуживает тщательного изучения и использования при проектировании зелёных насаждений, так как может придать неповторимость любому участку города. Между тем эффект осенней окраски нередко не учитывается. По разнообразию осенней окраски листьев древесные породы можно подразделить на две группы:

1) породы, у которых все листья растений данного вида осенью имеют один доминирующий цвет;

2) породы, имеющие разнообразную осеннюю цветовую гамму у растений одного вида, различных расцветок листьев на одном и том же экземпляре (а иногда у одного и того же листа) бывает от трёх до семи и более.

Во всём этом разнообразии красок имеются определённые закономерности, знание которых имеет практическое и теоретическое значение. Так, например, оказалось, что некоторым систематическим группам (семействам, родам, видам) соответствуют определённые изменения осенней окраски листвы. Для семейства розоцветных характерны красноватые тона (от розового до малинового и пурпурного); у представителей семейства буковых преобладают бурые тона; масличных – фиолетовые; берёзовых и клёновых – жёлтые. Родственные генетические связи у растений хорошо подчёркиваются общностью в составе пигментов [8].

Яркость осенней окраски листьев древесных пород и продолжительность сохранения её в значительной мере зависят от условий осенней погоды, возраста и видовых особенностей [9].

Таким образом, дифференциация на баллы зависит от разнообразия осенней окраски, яркости и продолжительности её сохранения. Оценка даётся визуально, мы предлагаем максимальный балл 5 присваивать экземпляру, цветовая гамма которого наиболее импонирует исследователю, далее по убывающей до минимального балла 1.

Кроме сроков осеннего листопада, существенное значение для зелёного строительства имеет общая *продолжительность облиствения* древесных пород в течение всего вегетационного периода. Предлагаем следующую градацию. Если растение *вечнозелёное*, то оно получает 5 баллов.

4 балла – присваивается древесным породам с рано распускающимися и поздно опадающими листьями;

3 балла – с рано распускающимися и рано опадающими, а также с поздно распускающимися и поздно опадающими листьями;

2 балла – с поздно распускающимися и рано опадающими листьями.

Повреждённость растений включает в себя наличие или отсутствие дупел, суховершинности, усыхание больших скелетных сучьев и механических повреждений, наличие или отсутствие повреждений вредителями или болезнями. Обязательно учитывается встречаемость разного рода патологий на листьях. Таким образом, повреждённость растений также относится к внешнему облику дендрофлоры. В данном случае балльная оценка даётся по степени повреждённости от 1 балла (наиболее

поражённые экземпляры) до 5 баллов (практически здоровые): 5 баллов – здоровые; 4 балла – ослабленные; 3 балла – сильно ослабленные; 2 балла – усыхающие; 1 балл – сухой текущий года; 0 баллов – сухой прошлого года.

Зимостойкость видов неизбежно влияет на внешний вид растений и оценивается по 7-балльной шкале ГБС АН [10], при этом в нашей шкале 5 баллов присваивается растению с зимостойкостью I балл по шкале ГБС, 4 балла соответствуют II баллам по шкале ГБС, 3 балла – обмерзание III и IV по шкале ГБС, 2 балла соответствуют V, 1 балл – VI, а 0 баллов – VII по шкале ГБС.

Баллы, присвоенные экземпляру по всем 10 критериям, суммируются, в результате получается общий балл декоративности. Соответственно растение, получившее суммарный балл 47, обладает наиболее привлекательным внешним видом (табл. 2).

Таблица 2

Степень декоративности деревьев и кустарников

Суммарный балл	1 – 10	11–20	21–30	31–47
Декоративность	очень низкая	низкая	средняя	высокая

При равном количестве баллов в комплексной оценке при выборе породы предпочтение отдаётся растениям, цветки которых обладают приятным ароматом.

Аромат листьев, цветков и плодов. При оценке под запахом понимают недостаточно приятные ощущения, а под ароматом – только приятные [6]. В Большой Российской энциклопедии [11] даётся такое определение: «Запах – ощущение, возникающее при воздействии пахучих веществ на рецепторы слизистой оболочки носа». Аромат – душистый, приятный запах [12]. Сочетание запаха и аромата называют букет. У цветков и плодов аромат определяется следующими словами – нет аромата (0 баллов), слабый (1 балл), средний (2 балла), сильный (3 балла), очень сильный (4 балла), также 1 балл присваивается при неприятном запахе.

Результаты работы натуральных исследований приведены в табл. 3.

Наиболее высокую оценку декоративности (40 и более баллов) получили интродуценты: ель колючая, роза морщинистая, сирень венгерская, смородина золотистая, ирга обильноцветущая и представители местной флоры: роза иглистая, рябина обыкновенная, черёмуха обыкновенная. Высокой степенью декоративности (30–40 баллов) обладают также арония черноплодная, боярышник кроваво-красный, бузина красная, жимолость татарская, карагана древовидная, кизильник блестящий, липа мелколистная, тополь бальзамический. Средней декоративности (до 30 баллов) соответствуют аборигены: берёзы повислая и пушистая, ива белая, ольха чёрная, тополь дрожащий.

Низкая оценка эстетичности у кедра сибирского (в целом весьма декоративного в природе вида) связана с его угнетённым состоянием в исследуемой посадке, а также с тем, что кедры молодого (не семеносящего) возраста, соответственно, по аспектам генеративного развития (а это пять критериев: длительность и степень цветения, окраска и величина цветков, привлекательность внешнего вида плодов, длительность удержания плодов на ветвях, аромат цветков и плодов) они получили 0 баллов.

Таблица 3

Оценка привлекательности внешнего вида деревьев и кустарников

Порода	Латинское название	Балльная оценка признаков										Сумма баллов	Степень декоративности
		архитектоника кроны	длительность цветения	степень цветения	окраска, величина цветков	привлекательность внешнего вида плодов	аромат цветков, плодов, листьев	осенняя окраска листьев	продолжительность облиствения	повреждаемость	зимостойкость		
Арония черноплодная	<i>Aronia melanocarpa</i> (Michx.)	3	3	3,5	4	5	1	4	3	4	4	34,5	Высокая
Берёза повислая	<i>Betula pendula</i> (L.)	4	3	4	2	2	0	4	3	4	3	29	Средняя
Берёза пушистая	<i>Betula pubescens</i> (Ehrh.)	4	3	3,5	2	2	0	4	3	4	3	28,5	Средняя
Боярышник кроваво-красный	<i>Crataegus sanguinea</i> (Pall.)	4	4	4	5	5	4	3	2	4,5	3	38,5	Высокая
Бузина красная	<i>Sambucus racemosa</i> (L.)	3	4	4,5	1	5	1	3	4	5	3	33,5	Высокая
Дёрен белый	<i>Cornus alba</i> (L.)	3,5	3	3	3	3	1	3	3	5	3	30,5	Средняя
Ель колючая	<i>Picea pungens</i> (Engelm)	4	3	3	4	5	3	5	5	3,5	4	39,5	Высокая
Жимолость татарская	<i>Lonicera tatarica</i> (L.)	3	3	4,5	4	4	4	2	4	4,5	3	36	Высокая
Ива белая	<i>Salix alba</i> (L.)	2	5	5	3	1	0	2	4	3	4	29	Средняя
Ирга обильноцветущая	<i>Amelanchier florida</i> (L.)	2,5	4	3,5	4	5	4	5	4	4	4	40	Высокая
Калина обыкновенная	<i>Viburnum opulis</i> (L.)	3	3	4,5	5	5	3	5	3	4	4	39	Высокая
Карагана древовидная	<i>Caragana arborescens</i> (Lam.)	4	5	5	47	3	1	2	3	4	3	34	Высокая
Кедр сибирский	<i>Pinus sibirica</i> (Rupr.)	2	0	0	0	0	0	5	5	3	4	19	Низкая
Кизильник блестящий	<i>Cotoneaster lucidis</i> (Schl.)	3	4	3	2	5	1	5	4	4,5	3	34,5	Высокая
Липа мелколистная	<i>Tilia cordata</i> (Mill.)	3	4	4	4	3,5	4	3,5	3	4	3	36	Высокая
Лиственница Сукачёва	<i>Larix Sukaczewii</i> (Djil.)	4	3	5	4	3	0	5	4	5	4	37	Высокая

Окончание таблицы 3

Порода	Латинское название	Балльная оценка признаков										Сумма баллов	Степень декоративности
		архитектоника кроны	длительность цветения	степень цветения	окраска, величина цветков	привлекательность внешнего вида плодов	аромат цветков, плодов, листьев	осенняя окраска листьев	продолжительность об-листвления	повреждаемость	зимостойкость		
Ольха чёрная	<i>Alnus incana</i> (L.)	3	3	4	3	5	0	2	3	4	4	28	Средняя
Роза иглистая	<i>Rosa rugosa</i> (Thunb.)	3	4	4,5	5	5	4	3,5	3	4	4	40	Высокая
Роза морщинистая	<i>Rosa acicularis</i> (Lindl.)	3	5	4,5	5	5	4	3,5	3	4	4	41	Высокая
Рябина обыкновенная	<i>Sorbus aucuparia</i> (L.)	4	4	4,5	5	5	4	5	3	5	3	42,5	Высокая
Сирень венгерская	<i>Syringa josikae</i> (Jacq.)	3	3	4	5	3	4	3	4	4	3	40	Высокая
Смородина золотистая	<i>Ribes aureum</i> (Pursch.)	3	3	4	3	5	4	5	4	5	5	41	Высокая
Тополь бальзамиче-ский	<i>Populus balsamifera</i> (L.)	4	3	4,5	3	0	4	4	4	3,5	4	34	Высокая
Тополь дрожащий	<i>Populus tremula</i> (L.)	4	3	4,5	3	1	0	4	3	4	4	30,5	Средняя
Черёмуха обыкновенная	<i>Padus racemosa</i> (Lam.)	3	4	4,5	5	5	4	5	4	3	4	41,5	Высокая

Выводы

1. Предложенная разработка позволит дать более обоснованную оценку декоративности городских насаждений [13, 14].

2. Декоративность древесных растений определяет их место в городских насаждениях. Являясь дополнением к архитектурно-пространственному решению улиц, древесные растения должны обладать определёнными декоративными качествами. Габитус деревьев в рядовой посадке должен обладать чётким силуэтом с одинаковым контуром у всех высаживаемых экземпляров. Очень важно, чтобы древесные растения обладали декоративностью и зимой, поэтому красивое густое ветвление, способное обогатить городской пейзаж и в безлистном состоянии, является большим преимуществом используемых пород. Летом крона такого дерева хорошо притеняет почву. Окраска листьев и цветение древесных растений служат дополнительными декоративными элементами.

3. Северные города отличаются малым ассортиментом древесно-кустарниковых пород по сравнению с городами средней полосы и южных районов. Вследствие этого страдает и эстетический облик городов в высоких широтах. Население чувствует недостаток положительных визуальных эмоций, что подтверждается и опросом людей, вернувшихся из поездок в другие регионы. Положение усугубляется коротким вегетационным периодом на Севере. В связи с вышперечисленным, особую важность приобретают такие признаки северной дендрофлоры, как продолжительность облиствения, обилие цветения, окраска цветков, цветовая гамма осенней окраски листьев.

4. На Севере важно увеличить зрительное разнообразие городских ландшафтов; использование видов, обладающих наибольшей декоративностью, позволяет решить данную задачу.

Список литературы

1. Рожков, Л. Н. Методика эстетической оценки пейзажей / Л. Н. Рожков // Лесное хозяйство. – 1978. – № 12. – С. 23-26.
2. Любавская, А. Я. Селекционная оценка древесных растений, применяемых для озеленения г. Москвы / А. Я. Любавская, О. Н. Виноградова. – М.: МЛТИ, 1983. – 128 с.
3. Маркевич, И. А. Методика эстетической оценки элементарных ландшафтов при движении по маршрутам / И. А. Маркевич, А. А. Шужмов // Лесной журнал. – 1993. – № 1. – С. 17.
4. Обрывкова, А. А. Создание устойчивых городских насаждений в условиях полупустыни (на примере г. Астрахани): автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук / А. А. Обрывкова. – М.: МГУЛ, 1987. – 28 с.
5. Фролова, В. А. Исследование структуры насаждений на общегородских объектах озеленения (на примере бульваров г. Москвы): автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук / В. А. Фролова. – М.: МГУЛ, 2001. – 25 с.
6. Колесников, А. И. Декоративная дендрология / А. И. Колесников. – М.: Лесная промышленность, 1974. – 704 с.
7. Булыгин, Н. Е. Фенологические наблюдения над древесными растениями / Н. Е. Булыгин. – Л.: ЛТА, 1979. – 96 с.
8. Молотков, П. И. Шкала изменения осенних окрасок листвы деревьев и кустарников / П. И. Молотков // Лесное хозяйство. – 1962. – № 9. – С. 5-6.
9. Якушина, Э. И. Декоративные аспекты листопадных древесных растений в озеленении Москвы / Э. И. Якушина // Бюллетень ГБС. – 1975. – № 98. – С. 8-17.
10. Искусственное лесовосстановление и интродукция на Европейском Севере / Под общ. ред. Н.А. Бабича. – Архангельск: АГТУ, 1998. – 184 с.
11. Большая Российская энциклопедия – «запах, аромат». – М.: Энциклопедия, 2001. – 300 с.
12. Толковый словарь русского языка / Под ред. А.Е. Баханькова. – Минск: Народная асвета, 1985. – 335 с.
13. Бабич, Н.А. Интродуценты в зелёном строительстве северных городов / Н.А. Бабич, О.С. Зальвская, Г.И. Травникова. – Архангельск: АГТУ, 2008. – 144 с.
14. Зальвская, О.С. Свинец в системе почва–древесное растение в урбанизированной среде / О.С. Зальвская, Н.А. Бабич, С.В. Хрущёва // Лесной журнал. – 2009. – № 1. – С. 39-43.

Статья поступила в редакцию 01.06.11.

O. S. Zalyvskaya, N. A. Babich

**SCALE OF COMPLEX ASSESSMENT OF TREES AND SHRUB DECORATIVENESS
IN NORTHERN CITIES**

It is important to increase visual diversity of townscapes in the northern regions. Usage of the most decorative species helps to solve the problem. This scale is elaborated in order to improve the estimation techniques of wood and shrub species external appearance used for green town planning. Novelty of the scale consists in complex assessment of urban green space, i.e. by the criteria (for example, architectonics of head, extent and period of blossoming, colours and size of flowers, umbeauty of fruit, period of fruit on the trees, fragrance of flowers and fruit, colour grade of autumn leaves, plant damage, winter hardness).

Key words: *decorativeness, urban plantation, integral criterion, plant introduction.*

ЗАЛЫВСКАЯ Ольга Сергеевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и ландшафтного строительства Северного (Арктического) федерального университета имени М. В. Ломоносова (Россия, Архангельск). Область научных интересов – интродуценты в озеленении северных городов. Автор 15 публикаций.

E-mail: o--s@yandex.ru

БАБИЧ Николай Алексеевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур и ландшафтного строительства Северного (Арктического) федерального университета имени М. В. Ломоносова (Россия, Архангельск). Область научных интересов – лесовосстановление таежной зоны. Автор 220 публикаций.

E-mail: les@agtu.ru

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

УДК 551.5:630*1

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ВЛИЯНИЕ АНОМАЛЬНОЙ ПОГОДЫ НА ПРИРОДНЫЕ,
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ИСКУССТВЕННЫЕ
СИСТЕМЫ: ЗАСУХА 2010 г. В ПОВОЛЖЬЕ РОССИИ»**

18-22 июня 2012 года в ПГТУ проведена международная конференция, на которой были обсуждены вопросы влияния аномальных температур 2010 года на лесные пожары, усыхание древесных пород, гидрологической оценки засухи Европейской территории России, спутникового мониторинга в Казахстане, картирования глобальных пожаров по спектрометриру MODIS.

В ПГТУ 18-22 июня 2012 года была проведена международная конференция под эгидой NASA, GOFC-GOLD, IUFRO, EFI и при поддержке организаций START, SCANEX, CSFM&RS и SOVZOND. В ее работе принимали участие ведущие специалисты Министерства лесного хозяйства Марий Эл, молодые ученые и преподаватели из университетов Татарстана, Марий Эл, Москвы, Екатеринбурга, Пензы, Санкт-Петербурга, Марий Эл, Томска, Нижнего Новгорода, Ижевска, Сыктывкара, Красноярска. Из зарубежных участников конференции были специалисты NASA, профессора американских университетов Орегона, Пердью, Мериленда, Южной Дакоты, а также Греции, Испании и Казахстана.

Во время конференции были обсуждены вопросы влияния аномальных температур 2010 года на лесные пожары, усыхание древесных пород, гидрологической оценки засухи Европейской территории России, спутникового мониторинга в Казахстане, картирования глобальных пожаров по спектрометриру MODIS. Кроме того, были представлены стендовые доклады, большая часть которых была сделана молодыми учеными. Интересные разработки программного обеспечения по оценке пожарной ситуации были представлены Российской компанией СканЭкс. Рабочим языком конференции был английский. Впервые для нашего вуза была применена система синхронного перевода, что позволило более эффективно использовать время докладчиков и участников конференции. Большой вклад в организацию конференции и проведение полевых экскурсий внесли сотрудники Министерства лесного хозяйства Республики Марий Эл.

Участники конференции посетили лесные участки с усыхающей елью, продуктивные сосновые и березовые насаждения Учебно-опытного лесхоза, а также гари 2010 года в районе Соснового бора. В последний день конференции специалисты из США и России организовали тренинг для молодых ученых по вопросам использования программного обеспечения с целью картирования наземного покрова.

По отзывам ее участников, конференция была организована на высоком научно-техническом уровне, в атмосфере свободного обмена мнений и дискуссий, а также соответствовала лучшим мировым традициям научной школы. Было отмечено, что для повышения качества научных исследований в российских вузах необходимо развивать международное сотрудничество, обмен идеями и сотрудниками в рамках научных проектов с зарубежными вузами. Для обеспечения устойчивого лесопользования и воспроизводства лесных ресурсов России необходимо продолжение поиска лесоводственно- и экологически эффективных технологий естественного возобновления лесов.

Э. А. Курбанов

Статья поступила в редакцию 27.08.12.

E. A. Kurbanov

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE «IMPACTS OF EXTREME WEATHER ON NATURAL, SOCIO-ECONOMIC AND LAND-USE SYSTEMS: FOCUS ON THE 2010 SUMMER ANOMALY IN THE VOLGAREGION»

An international conference took place in VSUT on June 18-22, 2012. The problems of influence of abnormal temperatures in summer 2012 on forest fires, tree species dying-off, drought hydrologic assessment at the European part of Russia, satellite monitoring in Kazakhstan, global fires mapping with the help of spectroradiometer MODIS were discussed.

КУРБАНОВ Эльдар Аликрамович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства, начальник управления международного сотрудничества Поволжского государственного технологического университета, руководитель Центра устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – устойчивое управление лесами, биологическая продуктивность лесных экосистем, депонирование углерода лесными экосистемами, дистанционное зондирование земли, леса Киото. Автор более 100 научных и учебно-методических работ.

E-mail: kurbanovea@volgatech.net

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Редакция журнала «Вестник ПГТУ. Сер. «Лес. Экология. Природопользование» принимает к публикации статьи, соответствующие профилю издания по рубрикам:

«**Лесное хозяйство**» – 06.03.01 Лесные культуры, селекция, семеноводство; 06.03.02 Лесоведение и лесоводство, лесоустройство и лесная таксация; 06.03.03 Агроресомелиорация и защитное лесоразведение, озеленение населенных пунктов, лесные пожары и борьба с ними.

«**Технологии и машины лесного дела**» – 05.21.01 Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства; 05.21.05 Древесиноведение, технология и оборудование деревопереработки; 05.23.11 Проектирование и строительство дорог.

«**Проблемы экологии и рационального природопользования**» – 03.02.08 «Экология (технические науки: в транспорте, в энергетике, в строительстве и ЖКХ)»; 03.02.14 Биологические ресурсы (биологические и сельскохозяйственные науки); 03.01.06 Биотехнология (в том числе бионанотехнологии).

Статья должна содержать только оригинальный материал, отражающий результаты завершенных исследований автора, объемом 6–15 страниц, включая рисунки.

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

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, ПГТУ, редакция журнала «Вестник ПГТУ», **e-mail:** vestnik@volgatech.net

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Подробнее – на сайте ПГТУ: <http://www.volgatech.net>

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