

ВЕСТНИК 3(13) 2011

МАРИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научный журнал

Издаётся с ноября 2007 года

Выходит три раза в год

СЕРИЯ «Лес. Экология. Природопользование»

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

Учредитель:

ФГБОУ ВПО «Марийский государственный технический университет»

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

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

Адрес редакции:

424006, Йошкар-Ола, ул. Панфилова, 17

Тел. (8362) 68-78-46, 68-28-41

Факс (8362) 41-08-72

E-mail: vestnik@marstu.net

Редактор *Т. А. Рыбалка*

Дизайн обложки *Л. Г. Маланкина*

Компьютерная верстка

А. А. Кислицын

Перевод на английский язык

М. А. Шалагина

Подписано в печать 26.12.11.

Формат 60×84 1/8. Усл. п. л. 14.

Тираж 500 экз. Заказ №. 174

Марийский государственный

технический университет

424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Отпечатано с готового оригинал-макета

в ООО «Реклайн»

424007, Йошкар-Ола,

ул. Строителей, 95

Главный редактор **Е. М. Романов**

Главная редакционная коллегия:

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

(главный редактор)

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

(первый зам. гл. редактора)

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

(зам. гл. редактора)

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

(зам. гл. редактора)

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

(зам. гл. редактора)

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

(отв. секретарь)

Редакционная коллегия серии:

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

(зам. гл. редактора – редактор серии)

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

(Нижний Новгород)

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

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

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

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

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

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

А. С. Исаев, академик РАН (Москва)

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

академик РАСХН (Москва)

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Е. М. Романов, Е. М. Онучин. Подходы к разработке и исследованию инновационной системы эффективного устойчивого лесопользования и лесовосстановления

3

В. Л. Черных, В. П. Бессчетнов, Е. С. Вдовин. Динамика лесных страт и точность оценки запаса на примере инвентаризации лесов Учебно-опытного лесничества Республики Марий Эл

10

Э. А. Курбанов, Т. В. Нуреева, О. Н. Воробьев, А. В. Губаев, С. А. Лежнин, Т. Ф. Мифтахов, С. А. Незамаев, Ю. А. Полевщикова. Дистанционный мониторинг динамики нарушений лесного покрова, лесовозобновления и лесовосстановления в Марийском Заволжье

17

Ю. П. Демаков, С. М. Швецов, В. И. Таланцев, К. К. Калинин. Динамика содержания зольных элементов в годичных слоях старовозрастных сосен, произрастающих в пойменных биотопах

25

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

С. В. Фокин. К обоснованию параметров и режимов работы устройства для измельчения порубочных остатков

36

Е. М. Онучин, В. А. Грязин. Адаптивно-модульные технические средства для лесного комплекса

45

Ю. А. Ширнин, А. Ю. Ширнин, А. Ю. Моржанов, И. В. Зверев. Моделирование энергозатрат при комбинированной трелевке древесины адаптивно-модульными машинами

50

М. В. Боярский, О. Г. Тарасова. Диагностирование пиломатериалов и лесопильного оборудования (на базе двухэтажной лесопильной рамы)

58

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Д. В. Кочкин, А. М. Носов. Кислые эфиры гинзенозидов в суспензионной культуре клеток *panax japonicus var. repens*

66

Е. М. Романов, Д. И. Мухортов, А. Д. Средин, Р. В. Сергеев, А. И. Шургин. Выращивание декоративных цветочных растений в культуре *in vitro* с использованием субстратов из органических отходов

72

П. С. Новиков, О. В. Шейкина, Т. Н. Милютина. Изменчивость плюсовых деревьев сосны обыкновенной на архиве клонов по ISSR-маркерам

82

А. А. Медяков, А. Д. Каменских. Разработка новых каталитических систем для процессов получения биогаза

88

Е. М. Онучин, А. А. Медяков. Наноструктурированные наполнители каталитических систем для установок анаэробной переработки органических отходов

95

Г. П. Дробот, В. С. Трубачева, О. В. Малюта, С. Г. Васин, О. И. Павловская. Гисто-морфометрические характеристики печени рыб как биоиндикаторы качества водной среды

101

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

Э. А. Курбанов. Повышение качества лесного образования: интеграция вузов Европы и России в программе Темпус-IV

108

Указатель материалов, опубликованных в журнале в 2011 году

109

Информация для авторов

112

CONTENTS

FORESTRY

E. M. Romanov, E. M. Onuchin. Approaches to development and research of innovative system of effective sustainable forest management and reforestation

V. L. Chernykh, V. P. Besschetnov, E. S. Vdovin. Forest stratum dynamics and wood stock estimation accuracy on the example of forest inventory of Mari El Republic Scientific-experimental forestry

E. A. Kurbanov, T. V. Nureeva, O. N. Vorobyev, A. V. Gubayev, S. A. Leznin, T. F. Miftakhov, S. A. Nezamayev, Y. A. Polevshikova. Remote monitoring of disturbances in forest cover, reforestation and afforestation of Mari Zavolzhe

Yu. P. Demakov, S. M. Shvetsov, V. I. Talantsev, K. K. Kalinin. Dynamics of ash constituents content in annual rings of old-growth pines growing at the floodplain biotopes

FORESTRY TECHNOLOGIES AND MACHINES

S. V. Fokin. To the problem of substantiation of parameters and modes of work of the device for forest residues chopping

E. M. Onuchin, V. A. Gryazin. Adaptive-modular equipment for forestry complex

Yu. A. Shirnin, A. Yu. Shirnin, A. Yu. Morzhanov, I. V. Zverev. Power inputs modeling in combined logging of the wood with adaptive-modular machinery

M. V. Boyarsky, O. G. Tarasova. Saw timber and sawmill equipment diagnostics (on the basis of double-level saw frame)

PROBLEMS IN ECOLOGY AND RATIONAL NATURE EXPLOITATION

D. V. Kochkin, A. M. Nosov. Ginsenosides acids esters in suspension culture of *panax japonicus var. repens* cells

E. M. Romanov, D. I. Mukhortov, A. D. Sreдин, R. V. Sergeev, A. I. Shurgin. Ornamental flowers cultivation *in vitro* with the use of organic waste substrates

P. S. Novikov, O. V. Sheikina, T. N. Milutina. Variation of *pinus sylvestris* plus trees on the clone archive in accordance with ISSR-markers

A. A. Medyakov, A. D. Kamenskikh. New catalytic systems development for the processes of biogas receipt

E. M. Onuchin, A. A. Medyakov. Nanostructured fillers of catalytic systems for plants of anaerobic digestion of organic waste

G. P. Drobot, V. S. Trubacheva, O. V. Maluta, S. G. Vasin, O. I. Pavlovskaya. Histo-morphometric characteristics of fish liver as bioindicators of later environment quality

DATES. EVENTS. COMMENTS

E. A. Kurbanov. Forest education quality improvement: European and Russian universities integration in Tempus-IV program

List of materials published in MarSTU Reporter in 2011

Information for the authors

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630

Е. М. Романов, Е. М. Онучин

ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ И ИССЛЕДОВАНИЮ ИННОВАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЭФФЕКТИВНОГО УСТОЙЧИВОГО ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ

Изложены базовые принципы, положенные в основу инновационной системы эффективного устойчивого лесопользования, описаны её структура и основные процессы функционирования, показаны перспективность и практическая значимость.

Ключевые слова: *система лесопользования и лесовосстановления, устойчивое лесопользование, адаптивно-модульные лесные машины, интенсивное лесопользование.*

Введение. Термин «система лесопользования» в настоящее время имеет несколько значений и его понимание в значительной степени зависит от общего контекста его использования. Анализ использования этого термина в научно-технической и публицистической литературе показывает, что наиболее часто он употребляется в двух значениях – узком и широком. В узком смысле под системой лесопользования понимается некоторая комбинация рубок леса (сплошных или несплошных, главного или промежуточного пользования), обеспечивающая максимальный выход товарной древесины с единицы лесной площади при соблюдении определенных лесоводственно-экологических ограничений. В широком смысле в систему лесопользования дополнительно включают и комплекс мер по лесозащите и лесовосстановлению, а также машинно-технологическое обеспечение выполнения лесохозяйственных и лесозаготовительных работ [1–5].

Опираясь на понятие леса как географического и исторического объекта, наиболее целесообразным является подход к лесопользованию, как к максимально широкому кругу взаимосвязанных проблем, включающих и лесоводственно-экологические и технико-технологические, а также социально-экономические составляющие процесса функционирования лесной территории. Использование такого подхода, кроме того, что позволяет более полно и комплексно выявить и оценить качественные взаимосвязи между отдельными составляющими процесса лесопользования, также делает возможным на базе определения количественных закономерностей проведение оптимизации конструктивно-технологических параметров отдельных подсистем по единым критериям эффективности функционирования всей системы.

Проблемы лесопользования. Проблема комплексного повышения эффективности лесопользования на базе роста продуктивности лесных экосистем путём перехода к интенсив-

ному устойчивому лесопользованию, механизации и автоматизации лесозаготовительных и лесохозяйственных работ, выполнение которых необходимо при интенсивном и экологически ответственном ведении лесного хозяйства, носит сложный и многоплановый характер. Наряду с чисто лесоводственными и техническими аспектами в ней содержатся и экономические, и экологические, и социальные составляющие. Особенно актуальна эта проблема для традиционно лесных регионов европейской части России, в которых в результате длительного времени экстенсивной эксплуатации наблюдается истощение лесных ресурсов, перекрывающее возможность дальнейшего экстенсивного развития и насущно требующее перехода к ведению интенсивного лесного хозяйства для обеспечения устойчивого развития отрасли.

Характерным в этой связи является состояние лесного комплекса в Приволжском федеральном округе и, в частности, Республике Марий Эл. Республика Марий Эл, как и соседние регионы Приволжского федерального округа, обладает истощенным лесным фондом, который не позволяет производить масштабные промышленные лесозаготовки с применением современной высокопроизводительной, но дорогостоящей техники. Для районов с истощёнными лесами, играющими большую экологическую, средозащитную и средорегулирующую роль, несущими большую рекреационную нагрузку, разработаны специальные технологии лесопользования, позволяющие свести к минимуму экологический ущерб от лесозаготовок, однако отечественное машиностроение в настоящее время не производит лесозаготовительных и лесохозяйственных машин, позволяющих экономически эффективно реализовывать на практике экологичные и при этом интенсивные технологии промежуточного лесопользования.

Между тем необходимость в таких машинах остро ощутима. Из 30–40 предприятий Республики Марий Эл, ведущих систематические лесозаготовки, лишь у 3–5 годовой объем вывозки превышает 25 тыс. куб. м, что является необходимым минимумом для рентабельной эксплуатации форвардеров (причем не новых, а дорабатывающих свой ресурс после 7–12-летней эксплуатации за рубежом), а уровень рентабельности харвестера (120–150 тыс. куб. м в год заготавливаемой древесины) просто не достигим, поэтому в основном на лесозаготовках республики применяются морально и физически устаревшие машины на базе тракторов ТДТ–55 и технологии на основе валки леса бензомоторными пилами и чокерной трелевки лесоматериалов, которые не обеспечивают выполнения требований ни по сохранению лесной среды, ни по санитарно-гигиеническим условиям работы людей, ни по охране труда, ни по качеству лесопродукции.

Еще сложнее ситуация с эпизодическими рубками, на которых используются неподготовленные, случайные рабочие и непрофильная техника без какого-либо специального технологического оборудования. Не менее остро стоит задача комплексной механизации лесовосстановительных работ в республике. Предприятия, ведущие лесное хозяйство, проводят лесовосстановление главным образом либо естественным путем, либо по технологии позапрошлого века (посадка под меч Колесова), что коренным образом противоречит требованиям технологии интенсивного ведения лесного хозяйства. В то же время многие перспективные технологии, разработанные учёными-лесоведами, остаются невостребованными в силу отсутствия машин, эффективно их реализующих. Перспективным направлением качественного роста показателей эффективности производства работ при интенсивном ведении лесного хозяйства является разработка нового поколения лесных машин для рубок ухода и лесовосстановления, построенных на принципах адаптивности, эксплуатационной модульности и широкого использования современных информационных технологий для автоматизации выполняемых технологических процессов. При этом полностью сохраняют свое значение требования энергоэффективности и экологичности машин.

Актуальная проблема повышения уровня механизации и автоматизации выполнения лесосечных и лесохозяйственных работ с чрезвычайно низкого в настоящее время уровня

(25–35 % – механизация, 5–10 % в лесной промышленности и порядка 1 % в лесном хозяйстве – автоматизация) является одной из важнейших с точки зрения повышения их эффективности и перехода к интенсивному ведению лесного хозяйства, обеспечивающему наибольшую отдачу и максимальное использование всех (как древесных, так и недревесных) ресурсов леса. В частности, в зарубежной Европе доля древесины, получаемая при рубках промежуточного пользования лесом, составляет 45–60, в России – 5–15 %. Также существенного повышения требуют показатели интенсивности использования технических средств. Например, коэффициент технического использования машин в большинстве предприятий лесного комплекса, занимающихся лесосечными и лесохозяйственными работами, не превышает 0,1–0,2, что напрямую негативно сказывается на экономической эффективности выполнения лесосечно-лесохозяйственных работ. Также велики значения энергоёмкости выполнения лесосечно-лесовосстановительных работ (порядка 35–40 МДж/куб. м) [2, 3]. Научно-исследовательские работы и опытно-конструкторские разработки, ведущиеся как в России, так и за рубежом, касающиеся автоматизации лесосечных и лесовосстановительных процессов, как правило, ограничиваются совершенствованием следящих приводов технологического оборудования, в то же время не используются достижения науки в области робототехники и искусственного интеллекта, позволяющие качественным образом повысить уровень автоматизации лесосечно-лесовосстановительных процессов.

Естественно, что при автоматизации таких сложных машинно-технологических комплексов и решении множества различных уже по своей природе и характеру задач нужно учитывать огромное количество факторов, принимать во внимание всевозможные ситуации и обстоятельства, анализировать большой поток информации. Система управления, которая учитывала бы такое огромное множество факторов, должна использовать соответствующее количество информационных переменных. Процессы функционирования объекта управления носят сложный нестационарный вероятностный характер. Для обеспечения высоких показателей эффективности и качества объекта алгоритм автоматизированной системы управления должен быть адаптивным, самонастраивающимся. Применение классических детерминированных алгоритмов в таком случае исключается. Управляющее устройство должно мгновенно реагировать на все возможные изменения факторов и возмущений и оперативно обрабатывать управляющие воздействия.

Возникает проблема разработки новых концепций системы управления, использующих иную теоретическую базу, опирающуюся на фундаментальные научные разработки, существенно отличающиеся от классической теории автоматического управления. Основу такой концепции, обеспечивающей выполнение современных требований к САУ, создают методы интеллектуальных систем. Проектирование современных машинно-технологических комплексов для рационального лесопользования – задача достаточно сложная и трудоёмкая. Она требует применения разнообразных технологий, использующих новые технические решения и научные принципы. При этом особенностью проектирования является необходимость учёта эффектов взаимодействия технических систем с лесными экосистемами, в том числе и тех эффектов, которые проявляют себя только в довольно отдалённой перспективе и представляют собой гораздо более сложные, чрезвычайно разнообразные и во многом ещё не изученные феномены.

Существенные резервы повышения эффективности лесосечно-лесовосстановительных работ имеются и в плане снижения экологического ущерба, наносимого лесной среде при рубках ухода. Проведённые ранее научные исследования показали, что для оценки экологического ущерба может быть использован такой показатель, как относительный балл ухудшения санитарного состояния древостоев, который при работе существующих машинно-технологических комплексов составляет 0,7–0,8, при этом предлагаемые адаптивно-модульные технико-технологические средства в перспективе позволяют его уменьшить до 0,2–0,3, то есть в 3–4 раза.

Существующие методы решения. В России и за рубежом в настоящее время широко применяется метод имитационного моделирования лесосечных и лесохозяйственных процессов, позволяющий наиболее полно учесть их стохастичность. Разработаны математические модели, отражающие функционирование существующих машин (харвестеров, форвардеров, трелёвочных тракторов, валочно-пакетирующих, сучкорезно-раскряжёвочных и проч.), при этом основное внимание уделяется сплошным и несплошным рубкам главного пользования, при этом специфические особенности рубок промежуточного пользования (например, изменение прироста древесины в древостое) оказываются неучтёнными [5].

Известные математические модели, разработанные как в нашей стране, так и за рубежом, как правило, либо не учитывают стохастического характера условий функционирования машин (расчёт по средним значениям), либо возникающих при адаптивности машин и автоматизации технологических процессов причинно-следственных связей, в них также отсутствуют эффекты, обусловленные новыми техническими решениями; имеющиеся отечественные и зарубежные методики проектирования лесных машин предполагают большую роль неформального творческого подхода, угадывания и субъективности, что может быть устранено путём разработки математических моделей оптимального синтеза как технологических процессов, так и конструкций технических средств.

Качественно новым явлением в лесопользовании может и должен стать индивидуальный подход к каждому отдельному участку лесного фонда, выраженный не только в его полном (точном и достоверном) таксационно-лесоводственном описании, но и постоянном (а не периодичном, как это реализовано в настоящее время) отслеживании его динамики и назначении с использованием методов прогнозирования индивидуальных технологических воздействий на лесную экосистему данного участка лесного фонда, оптимизированных с точки зрения достижения желаемых показателей эффективности лесопользования на данном участке [1, 4].

В этой связи разработка такой сложной многоуровневой и многосвязной системы, как система эффективного устойчивого лесопользования и лесовосстановления, предполагает широкое использование междисциплинарного подхода, основанного на взаимодействии, взаимопроникновении и синтезе многих фундаментальных и прикладных дисциплин, касающихся биологии (физиологии), лесоведения и лесоводства, лесовосстановления, технологических процессов лесохозяйственных и лесозаготовительных работ, механики, автоматизации, технической кибернетики и многих других. Использование такого подхода позволяет отойти от широко распространённой сегодня параметрической оптимизации отдельных частных компонент, в совокупности составляющих лесного комплекса (методов и способов лесоводства и лесоустройства, технологий и отдельных технических средств для лесозащиты, лесовосстановления, лесозаготовок и первичной переработки лесных ресурсов), к исследованию этих составляющих в рамках одной единой системы и оптимизации параметров такой системы по обобщённым критериям эффективности.

Как уже было отмечено во введении, под термином «система лесопользования» целесообразно подразумевать в широком смысле некоторую комбинацию рубок леса (сплошных или несплошных, главного или промежуточного пользования), обеспечивающую максимальный выход товарной древесины с единицы лесной площади при соблюдении определенных лесоводственно-экологических ограничений, дополненную комплексом мер по лесозащите и лесовосстановлению, машинно-технологическим обеспечением выполнения лесохозяйственных и лесозаготовительных работ, а также подсистемами мониторинга и прогнозирования развития лесных экосистем.

Таким образом, в широком понимании система лесопользования включает в себя:

подсистему мониторинга и прогнозирования развития лесных экосистем, включая еще одну подсистему более низкого уровня – подсистему программно-аппаратных и технических средств;

подсистему способов, технологий и технических средств для лесовосстановления;
подсистему способов, технологий и технических средств для лесоводства и лесозащиты;
подсистему способов, технологий и технических средств для лесозаготовок и первичной переработки лесных ресурсов;

подсистему конструкций технологического оборудования (рабочих органов) для выполнения технологических операций, связанных с обработкой предмета труда при выполнении лесохозяйственных и лесозаготовительных работ;

подсистему шасси лесных машин и приводов технологического оборудования.

Традиционно при разработке и исследовании отдельных компонентов системы лесопользования лесоводственные и, в меньшей степени, технологические вопросы рассматривались обособленно от проблем конструирования технических средств для выполнения лесохозяйственных и лесозаготовительных работ. Это приводило также и к обособленной оптимизации технологических параметров лесохозяйственных и лесозаготовительных работ и конструктивных параметров по своим собственным критериям эффективности без учета или практически без учета их функционирования в составе единой системы лесопользования, обладающей в свою очередь своими собственными критериями эффективности.

Такой подход практически полностью исключал возможность параметрической оптимизации всей системы в целом по обобщенным критериям эффективности, что наиболее показательно на примере проектирования технических средств для лесохозяйственных и лесозаготовительных работ. В данной области общепринятым является подход, когда специалисты по лесному хозяйству или технологии лесозаготовок «выдают» конструкторам лесных машин требуемые параметры, а также ограничения, найденные по критериям эффективности лесохозяйственных или лесозаготовительных процессов (продуктивности биологических или экологических систем, производительности или энергоэффективности технологического процесса), после чего конструкторы оптимизируют конструкцию лесной машины по «конструктивным» критериям материалоемкости, технологичности, надежности и т. д. Как видно из приведенного примера, происходит поэлементная оптимизация составляющих единой системы лесопользования, а такой подход, как известно из исследования операций, в общем случае совершенно не гарантирует оптимальность параметров системы в целом.

Хрестоматийным примером ограниченности такого подхода являются статистические данные, характеризующие развитие трелёвочных тракторов. С 50-х до 80-х годов XX века их мощность возросла в среднем в 2–2,5 раза, а производительность – всего лишь на 20–30 %. Столь незначительные результаты как раз и были предопределены тем, что разработчики шасси, приводов и технологического оборудования трелёвочных тракторов работали вне единой системы с разработчиками технологических процессов лесозаготовительных и лесохозяйственных (в первую очередь лесовосстановительных) работ.

Другим не менее значимым по своей ограниченности являлся фактор «удачного базового шасси», когда одна, пусть даже действительно хорошая для определённых условий, конструкция лесной машины тиражировалась на другие технологические процессы в лесном комплексе без учёта их особенностей, и даже напротив, сами технологические процессы разрабатывались под определённую базу машины. В современной действительности гибких производственных линий это выглядит явным анахронизмом, и только рассмотрение (исследование и оптимизация параметров) всех компонентов в рамках единой системы эффективного устойчивого лесопользования позволит сделать качественный шаг вперёд в области развития как технологий, так и технических средств в лесном комплексе.

Предлагаемый путь решения. Общая схема функционирования разрабатываемой системы представлена на рисунке (с.8). Состояние лесных экосистем отслеживается с определённой степенью достоверности и точности, необходимыми и достаточными для принятия адекватных решений по управлению лесами, при помощи системы мониторинга, основанной на современных инфотелекоммуникационных методах. Данные, полученные с по-

мощью системы мониторинга, поступают в математическую модель, представляющую собой основную часть системы прогнозирования продуктивности и устойчивости лесных экосистем. При помощи данной математической модели на основе данных системы мониторинга текущего состояния лесных экосистем, путём оптимизации целевых критериев эффективности лесопользования (ресурсных, лесоводственно-экологических, социально-экономических или других), вырабатываются рекомендации по проведению целесообразных технологических (своего рода управляющих) воздействий на лесные экосистемы.

При этом главной особенностью модели является то, что в процессе выработки технологических воздействий на лесные экосистемы параллельно происходит процесс оптимизации как структуры, так и количественных параметров технологического процесса и конструктивных параметров адаптивно-модульных технических средств для его выполнения.

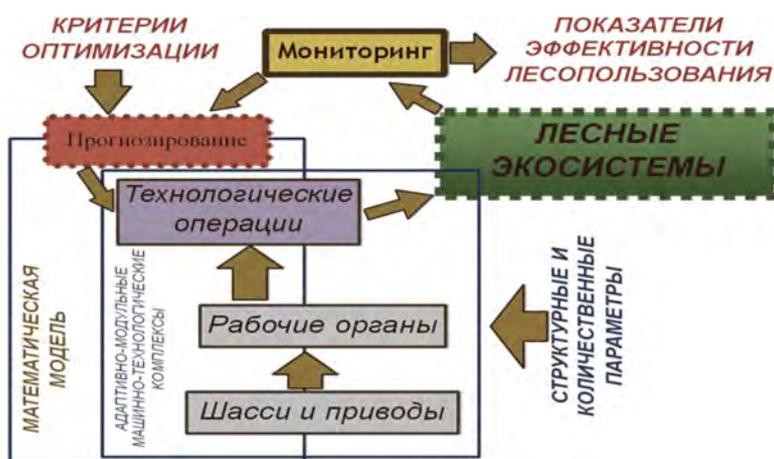


Схема функционирования инновационной системы эффективного устойчивого лесопользования и лесовосстановления

Основой для разработки инновационной системы использования и воспроизводства лесных ресурсов, новых технологий интенсивного лесопользования и лесовосстановления, обеспечения условий для рационального природопользования без нарушения устойчивости лесных экосистем с ориентацией на малозатратные и ресурсосберегающие технологии могут являться следующие направления:

- поддержание оптимальных условий для прохождения естественных процессов воспроизводства лесных ресурсов и ограничение лесопользования;
- обеспечение непрерывного мониторинга на основе инфотелекоммуникационных методов;
- совершенствование технологий и научно обоснованных технологических процессов использования и воспроизводства лесных ресурсов;
- разработка новых типов технических средств для отрасли.

Обычно выбор основополагающего направления при разработке новой системы опирается только на одно из направлений из данного перечня. Это не позволяет разработать гармоничной системы, и система не может считаться устойчивой. Это связано с тем, что лесохозяйственное производство имеет свои особенности, которые существенно сказываются на технологических аспектах использования и воспроизводства лесных ресурсов, которые возникли в основном в результате последствий прошлого уровня ведения лесного хозяйства, не полностью учитывающего перспективы развития отрасли. Все это необходимо учитывать при разработке инновационной системы использования и воспроизводства лесных ресурсов.

Направления для разработки инновационной системы использования и воспроизводства лесных ресурсов можно объединить в две укрупненные группы, одна из которых опирается на естественно-биологические процессы, протекающие в лесных экосистемах (естественно-биологическое направление), а другая – на функционирование технических средств в технологических процессах лесохозяйственного производства (технико-технологическое направление). Эти направления взаимосвязаны, но разнонаправлены.

Естественно-биологическое направление опирается на природные условия и определяет функционирование деятельности человека. Природные условия редко поддаются коренному изменению, поэтому считается, что их надо учитывать, прогнозировать их действия и

к ним необходимо приспособляться. Техничко-технологическое направление опирается на функционирование созданного человеком технологического процесса и технических систем, которые вступают во взаимодействие с естественно-биологическими системами, видоизменяют их в нужном направлении.

Выводы. При разработке инновационной системы использования и воспроизводства лесных ресурсов, новых технологий интенсивного лесопользования и лесовосстановления, обеспечения условий для рационального природопользования без нарушения устойчивости лесных экосистем нужно использовать совокупность решений по естественно-биологическому и технико-технологическому направлениям с учетом основных взаимовлияющих факторов.

Представленная концепция разработки и исследования сложной многоуровневой и многосвязной системы эффективного устойчивого лесопользования и лесовосстановления предполагает широкое использование междисциплинарного подхода, основанного на взаимодействии, взаимопроникновении и синтезе широкого ряда фундаментальных и прикладных дисциплин, касающихся биологии, лесоведения и лесоводства, лесовосстановления, технологических процессов лесохозяйственных и лесозаготовительных работ, механики, автоматики, технической кибернетики и др.

Список литературы

1. *Меньшиков, В.Н.* Основы теории заготовки леса с сохранением и воспроизводством природной среды / В.Н.Меньшиков. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1987. – 220 с.
2. *Ширнин, Ю.А.* Процессы комплексного освоения участков лесного фонда при малообъемных лесозаготовках: Научное издание / Ю.А.Ширнин, К.П.Рукомойников, Е.М.Онучин; Под ред. Ю.А.Ширнина. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. – 196 с.
3. *Сидыганов, Ю.Н.* Модульные машины для рубок ухода и лесовосстановления: монография / Ю.Н.Сидыганов, Е.М.Онучин, Д.М.Ласточкин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2008. – 336 с.
4. *Романов, Е.М.* Лесные культуры. Ускоренное лесовыращивание: Учебное пособие / Е.М.Романов, Н.В.Еремин, Т.В.Нуреева и др. – Йошкар-Ола.: МарГТУ, 2007. – 288 с.
5. *Герасимов, Ю.Ю.* Экологическая оптимизация технологических процессов и машин для лесозаготовок / Ю.Ю.Герасимов, В.С.Сюнёв. – Йоенсуу: Изд-во Университета Йоенсуу, 1998. – 178 с.

Статья поступила в редакцию 25.11.11.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по государственному контракту № 16.515.11.5053 в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы».

E. M. Romanov, E. M. Onuchin

APPROACHES TO DEVELOPMENT AND RESEARCH OF INNOVATIVE SYSTEM OF EFFECTIVE SUSTAINABLE FOREST MANAGEMENT AND REFORESTATION

Basic principles taken as a basis of innovative system of effective sustainable forest management are presented, its structure and basic process of functioning are described, perspective and practical importance are shown.

Key words: *forest management and reforestation system, sustainable forest management, adaptive-modular forest machines, intensive forest management.*

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

E-mail: rector@marstu.net

ОНУЧИН Евгений Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации машин и оборудования МарГТУ. Область научных интересов – проблемы проектирования машинно-технологического комплекса для лесопользования и утилизации органических отходов с сопутствующим получением энергоносителей Автор 53 публикаций.

E-mail: OnuchinEM@marstu.net

УДК 630.524.63(470.343)

В. Л. Черных, В. П. Бессчетнов, Е. С. Вдовин**ДИНАМИКА ЛЕСНЫХ СТРАТ И ТОЧНОСТЬ ОЦЕНКИ ЗАПАСА
НА ПРИМЕРЕ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ЛЕСОВ УЧЕБНО-ОПЫТНОГО
ЛЕСНИЧЕСТВА РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ**

Приводится оценка динамики лесного фонда Учебно-опытного лесничества Республики Марий Эл с 1984 по 2003 год с применением ГИС-технологий. Дан подробный анализ динамики лесных страт. Произведен расчёт оптимального количества пробных площадей для проведения выборочной инвентаризации по материалам трёх последовательных лесоустройств.

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

Введение. Для получения точной и достоверной характеристики структуры лесных ресурсов на основе данных выборочной государственной инвентаризации леса требуется классифицировать объект лесоинвентаризации в соответствии с принятыми признаками классификации.

Страта – это специальным способом образованная территориальная общность таксационных выделов, определяемая либо техническими и технологическими особенностями лесоучётных работ, либо однородностью антропогенных и природных воздействий, либо однородностью реакции на эти воздействия [1].

Лесоустройство выделяет следующие признаки: преобладающая порода, класс (группа) возраста, класс бонитета насаждений или тип лесорастительных условий. Кроме того, могут выделяться части объекта по хозяйственным или другим признакам. В то же время дробность стратификации объекта, или степень детализации результатов инвентаризации, возможна лишь до определенного предела, после которого дальнейшее дробление объекта не имеет смысла. Такой предел, видимо, может определяться точностью результативных данных в стратах, характеризующих общие запасы насаждений [2, 3].

Стратификацию осуществляют перед проведением полевых исследований. Стратифицированную выборку, по мнению Ж. Авери [4], необходимо применять в случае, когда дисперсия запасов между стратами больше дисперсии внутри страты. Следовательно, стратифицированная выборка – это выборка, в которой генеральная совокупность разделена на частичные совокупности, которые сами по себе являются однородными, а между собой – разнородными. Выборка должна соответствовать генеральной совокупности по структуре.

Согласно п. 1.1. Рабочих правил проведения полевых работ по государственной инвентаризации лесов [5], для определения количественных и качественных характеристик лесов в пределах лесного района разрабатывается единая оптимальная схема стратификации. Стратификация проводится путем группирования лесных насаждений в относительно однородные группы (страты), в пределах которых изменчивость запасов древесины меньше, чем в общей совокупности. Для осуществления стратификации используются таксационные характеристики выделов, установленные при лесоустройстве. В качестве определяющих таксационных признаков для формирования страт могут использоваться:

- группа древесных пород (или преобладающая древесная порода);
- группа возраста;

- типы (или группы типов) лесорастительных условий;
- высотная поясность в горных условиях.

Стратификация приносит уточнение оценки наблюдаемых величин. Даже в случае, когда большая территория кажется однородной, целесообразно подразделить ее схематически на блоки и работать с ней, как со стратифицированной.

Проанализировав действующие Рабочие правила по ГИЛ, можно сделать вывод о том, что для российских лесов применяется достаточно простая схема стратификации, а именно, для формирования страт в пределах лесного района используются только два показателя: группа древесных пород и группа возраста.

Цель работы – выявить динамику формирования лесных страт на примере ретроспективной оценки лесов Учебно-опытного лесничества Республики Марий Эл для повышения точности таксации запаса лесных насаждений.

Решаемые задачи:

- создание геоинформационной системы (ГИС) на территорию объекта исследований;
- стратификация лесного фонда опытного объекта в базовом периоде;
- ретроспективный анализ динамики формирования.

Методика исследований. На территории Республики Марий Эл для проведения исследований нами было выбрано Учебно-опытное лесничество потому, что оно имеет сходную с лесами республики структуру лесного фонда, а также отражает весь спектр лесорастительных условий республики.

Для создания ГИС использовались картографические (планшеты в масштабе 1:10000 и планы лесонасаждений в масштабе 1:25000) и таксационные материалы трёх последовательных лесоустройств. Для всех трёх периодов созданы ГИС с повыведельной информацией. Повыведельная база данных создавалась в среде программного комплекса ForestDB [6].

В данную систему входит подсистема «Карточка таксации», которая является аналогом комплекса программ «АРМ-таксатора», от которого заимствована:

- 1) методология ввода и кодирования входных данных;
- 2) организация нормативно-справочной информации.

Отличительными особенностями подсистемы являются: организация графического интерфейса, использование распространенного формата баз данных (DBF) поддерживаемого большинством СУБД.

Данные, сформированные подсистемой, можно эффективно использовать для подготовки атрибутивной информации для описания лесного участка и экспорта данных в ГИС MapInfo и др.[6].

Результаты исследований. Согласно существующей методике [5], которую применяет ФГУП «Рослесинфорг», нами проведена стратификация территории лесного фонда Учебно-опытного лесничества (уменьшенная копия объекта ГИЛ). В результате анализа таксационной характеристики лесного фонда выявлено 13 страт:

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

Для анализа динамики площадей Учебно-опытного лесничества по основным категориям земель были использованы карты на повыведельном уровне детализации. Получены тематические карты по категориям земель (табл. 1).

Площадь лесничества за изучаемый период времени уменьшилась на 871 га (табл. 2).

Динамика площадей лесных насаждений Учебно-опытного лесничества по хозяйствам представлена на рис. 1.

Т а б л и ц а 1

Динамика площадей Учебно-опытного лесничества по основным категориям земель

Годы	Земли											
	лесные								нелесные		общая площадь	
	покрытые лесом						непокрытые лесом					
	хвойные		мягко- лиственные		твёрдо- лиственные							
	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%
1983	11729,4	48,1	10383,4	42,6	124,1	0,5	594,9	2,4	1541,2	6,3	24373	100
1991	12142,4	50,4	9685,3	40,2	99,8	0,4	269,1	1,1	1885,4	7,8	24082	100
2003	11968,0	50,9	9792,0	41,7	101,2	0,4	240,0	1,0	1400,8	6,0	23502	100
2010*	11078,0	47,1	9619,0	40,9	101,0	0,4	556,0	2,4	2148,0	9,1	23502	100

* данные взяты из Отчёта об обобщённых результатах государственной инвентаризации лесов ГУ «Учебно-опытное лесничество» Министерства лесного хозяйства Республики Марий Эл.

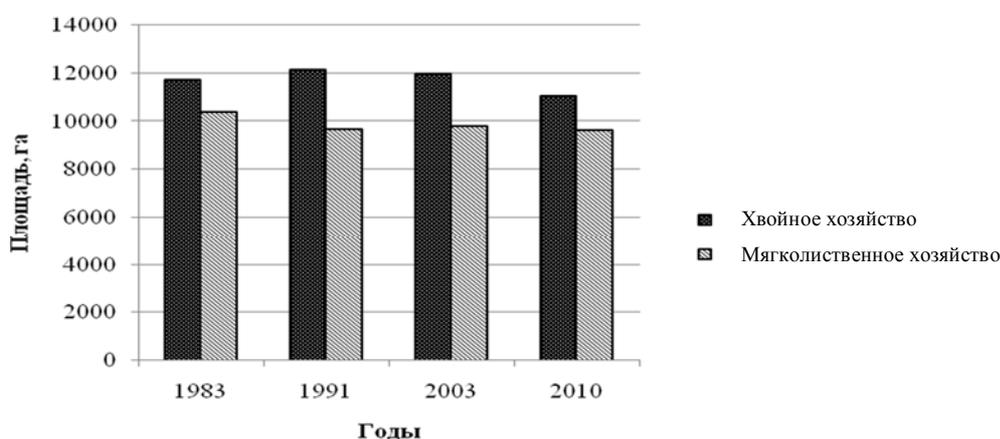


Рис. 1. Динамика площадей насаждений по годам учёта

Следует отметить, что твердолиственное хозяйство в анализ динамики не включено, так как это хозяйство занимает только 0,4 % от всей площади лесничества.

Анализ динамики площади страт лесничества. По планам лесонасаждений выполнен анализ динамики площадей и периметров страт по лесничеству. В среде ГИС были определены площади и периметры страт. Результаты приведены в табл. 2.

Из таблицы видно, что происходит увеличение площадей в приспевающих и спелых стратах за счет уменьшения площадей в стратах молодняков и средневозрастных насаждений. Это вызвано снижением интенсивности ведения лесного хозяйства в Учебно-опытном лесничестве, что приводит к накоплению запаса во всех категориях защитности.

Распределение площадей и запасов лесных насаждений Учебно-опытного лесничества по преобладающим породам в разрезе трёх последовательных лесоустройств представлено в табл. 3.

Приведённые материалы позволяют сделать вывод о том, что при незначительном изменении в площадях хозяйств происходит увеличение суммарного запаса по хозяйствам, что также обусловлено увеличением доли спелых и приспевающих насаждений.

Для каждого периода лесоустройства по формулам определения количества наблюдений при заданной точности [7], с учётом изменчивости запаса, рассчитано число пробных площадей по стратам [8].

Результаты расчета оптимального количества пробных площадей для 1983, 1991 и 2003 гг. приведены в табл. 4 (звездочками указано количество пробных площадей, скоррек-

Таблица 2

Динамика площади и периметра страт
Учебно-опытного лесничества

Страты		Площади и периметры страт по годам таксации		
		1983	1991	2003
хм	га	2984,4	3131,4	2158,1
	км	472,6	289,7	400,1
хср	га	6194,2	5624,3	5630,4
	км	908,1	741,3	812,5
хп	га	1321,5	1840,8	2802,6
	км	225,7	294,2	524,8
хсп	га	1229,3	1545,9	1376,9
	км	231,3	289,7	321,1
мм	га	1270,5	1134,6	910,5
	км	212,3	222,1	258,6
мср	га	5972,4	4106,9	2476,3
	км	939,7	629,1	573,0
мп	га	1619,7	2642,8	3029,9
	км	340,0	429,8	669,1
мсп	га	1520,8	1801	3375,3
	км	342,0	323,4	524,5
нлз	га	594,9	269,1	240
	км	100,0	55,7	64,3
Итого	га	22707,7	22096,8	22000,0

тированных ввиду большего количества проб, полученного расчётным путём, по сравнению с общим количеством выделов в данной страте; в выборку включены все выдела страты).

Приведённые материалы позволяют сделать вывод о том, что при незначительном изменении в площадях хозяйств происходит увеличение суммарного запаса древесины по хозяйствам, что также обусловлено увеличением доли спелых и приспевающих насаждений.

Для каждого периода лесоустройства с учётом изменчивости и заданной точности оценки запаса по стратам определялось количество пробных площадей [7, 8], согласно формуле

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

где S^2 – дисперсия запасов древесины; t^2 – значение критерия Стьюдента (1,96 для вероятности 0,95); \bar{X} – среднее значение запаса древесины, м³/га; g – целевая точность (в долях ед.).

Таким образом, количество пробных площадей убывает с каждым десятилетием (рис. 2).

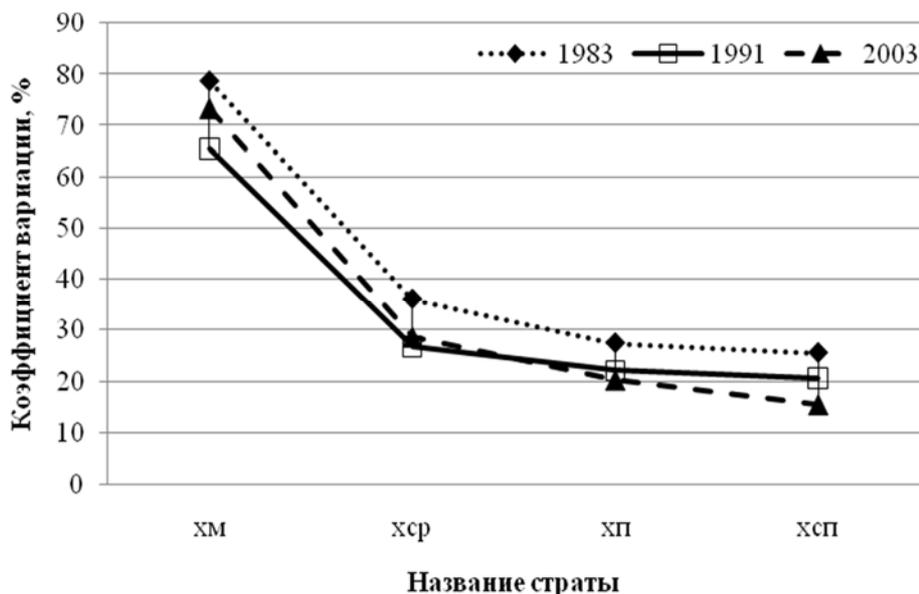


Рис. 2. Изменчивость запаса в стратах в хвойном хозяйстве по годам учёта

Таблица 3

Динамика покрытых лесом земель Учебно-опытного лесничества по преобладающим породам

Преобладающая порода	Показатели	Годы лесоустройства		
		1983	1991	2003
Сосна	Общий запас, тыс. м ³	1766,6	2366,5	2250,2
	Площадь, га	10887,3	11280,4	11059,2
	Запас на 1 га, м ³	178,4	220,0	198,8
Ель	Общий запас, тыс. м ³	155,3	152,1	210,2
	Площадь, га	729,6	783,3	851,7
	Запас на 1 га, м ³	208,2	193,8	212,9
Остальные хвойные	Общий запас, тыс. м ³	23,9	18,5	13,3
	Площадь, га	112,5	78,7	57,1
	Запас на 1 га, м ³	239,2	137,2	236,4
Берёза	Общий запас, тыс. м ³	1309,1	1412,7	1453,2
	Площадь, га	7459,6	7386,8	7541,7
	Запас на 1 га, м ³	158,7	170,5	167,2
Липа	Общий запас, тыс. м ³	347,5	406,0	394,2
	Площадь, га	1515,2	1340,9	1407,9
	Запас на 1 га, м ³	181,0	240,2	223,8
Осина	Общий запас, тыс. м ³	258,8	165,2	146,9
	Площадь, га	1101,7	705,8	584,6
	Запас на 1 га, м ³	186,7	183,5	197,4
Остальные мягколиственные	Общий запас, тыс. м ³	32,9	30,8	31,6
	Площадь, га	306,9	251,8	257,8
	Запас на 1 га, м ³	109,9	126,5	112,9
Вяз	Общий запас, тыс. м ³	0,0	0,0	0,2
	Площадь, га	0,4	0,0	1,6
	Запас на 1 га, м ³	60,0	0,0	125,0
Дуб	Общий запас, тыс. м ³	14,0	15,1	17,7
	Площадь, га	123,7	99,8	99,6
	Запас на 1 га, м ³	110,1	154,2	158,2
Общий запас по хвойному хозяйству		1945,8	2537,1	2473,7
Общая площадь по хвойному хозяйству, га		11729,4	12142,4	11968,0
Общий запас по мягколиственному хозяйству, тыс. м ³		1948,3	2014,8	2025,9
Общая площадь по мягколиственному хозяйству, га		10383,4	9685,3	9792,0
Общий запас по твердолиственному хозяйству, тыс. м ³		14,0	15,1	17,9
Общая площадь по твердолиственному хозяйству, га		124,1	99,8	101,2

Таблица 4

Оптимальное количество пробных площадей по стратам

Хозяйство	Группа возраста	Шифр страты	Количество ПП, шт по годам учёта		
			1983	1991	2003
Хвойное	молодняки	хм	77	54	67
	средневозрастные	хср	65	36	41
	приспевающие	хп	38	24	20
	спелые	хсп	130	85	47
Мягколиственное	молодняки	мм	198	151	52
	средневозрастные	мср	59	56	106
	приспевающие	мп	38	35	32
	спелые	msp	118	157	90
Твердолиственное	молодняки	тм	18	16*	11*
	средневозрастные	тср	35*	32*	28*
	приспевающие	тп	-	-	10*
	спелые	тсп	3*	-	-
Не покрытые лесом земли		-	17	8	10
Итого			796	654	514

* В выборку включены все выделы страты.

Выводы. По результатам анализа картографических материалов и таксационных характеристик Учебно-опытного лесничества было выявлено:

- доли хвойных и лиственных пород в составе лесного фонда Учебно-опытного лесничества остаются приблизительно постоянными и колеблются около 50 и 41 % по площади соответственно;
- за 20 лет произошло увеличение доли нелесных земель (с 6,3 до 9,1 %), а доля не покрытых лесом земель осталась на прежнем уровне (2,4 %);
- среди хвойных пород продолжает доминировать сосна обыкновенная, а среди лиственных преобладают насаждения березы повислой;
- за 20-летний промежуток времени прослеживается процесс усиления фрагментации растительного покрова, его расчленение на всё большее количество выделов, например, в 1983 году – 7037 шт., в 2003 – 8311 шт.;
- динамика покрытых лесом площадей оказывает непосредственное влияние на общее количество пробных площадей для объекта инвентаризации. Наблюдается постепенное уменьшение количества пробных площадей, необходимых для проведения выборочной инвентаризации по периодам учёта. Это вызвано снижением дисперсии запасов внутри страт ввиду увеличения количества выделов, составляющих страту, а также снижения варьирования относительно среднего значения запаса на 1 га;
- для достижения заданной точности оценки запаса значительное количество пробных площадей закладывается в страте молодняков. Снижение доли молодняков в составе лесного фонда Учебно-опытного лесничества за рассматриваемый период, обусловленное спадом хозяйственной деятельности, также влияет на общее количество пробных площадей в объекте;
- в динамике количество пробных площадей в каждой страте изменяется, а следовательно, изменяется точность оценки запасов и всех остальных показателей, определяемых на пробной площади. Ввиду того, что пробные площади располагаются в пространстве нерегулярно, то чтобы поддерживать точность оценки запасов на заданном уровне и получать достоверную информацию, необходимо будет корректировать оптимальное количество пробных площадей для каждого цикла работ по Государственной инвентаризации лесов.

Работа выполнена в рамках Государственного контракта №16.515.11.5053: «Проведение проблемно-ориентированных прикладных исследований в области технологий заготовки и воспроизводства лесных ресурсов» по теме: «Разработка инновационной системы эффективного устойчивого лесопользования и лесовосстановления на ландшафтно-типологической основе с использованием адаптивно-модульных образцов техники и инфотелекоммуникационных методов экомониторинга» (раздел 4.1.6), на оборудовании ЦКП «ЭБЭЭ».

Список литературы

1. Филипчук, А.Н. Определение объема выборки для государственной инвентаризации лесов России / А.Н. Филипчук, Д.В. Хлюстов, Г.Н. Чадин // Лесной вестник. – 2009. – № 3 (66). – С. 64-66.
2. Федосимов, А. Н. Выборочная таксация леса / А. Н. Федосимов, В. Г. Анисочкин. – М.: Лесная промышленность, 1979. – 170 с.
3. Федосимов, А.Н. Инвентаризация леса выборочными методами / А.Н. Федосимов. – М.: Лесная промышленность, 1986. – 192 с.
4. Филипчук, А.Н. Обзор методов инвентаризации в зарубежных странах / А. Н. Филипчук, В. В. Страхов, В. К. Тепляков // Экспресс-информация. – М.: ВНИИЛСресурс, 1994. – 25 с.
5. Государственная инвентаризация лесов Российской Федерации. Рабочие правила проведения полевых работ. – М.: Рослесинфорг, 2009. – 96 с.
6. Черных, В.Л. Автоматизированная подсистема документационного обеспечения проекта освоения лесов (АПДОПОЛ) / В.Л. Черных, Д.М. Ворожцов, А.А. Домрачев, Д.В. Черных, М.А. Ануфриев // Материалы I Международной конференции «Проблемы лесостроительства и государственной инвентаризации лесов в России». – М.: ФГУП Рослесинфорг, 2009. – С. 241-244.

7. Черных, В.Л. Совершенствование методики выборочной таксации запаса древостоев на примере Учебно-опытного лесничества Республики Марий Эл/ В.Л. Черных, Е.С. Вдовин, Д.М. Ворожцов // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2011.– № 1. – С.3-10.

8. Глушенков, И.С. Оптимизация выборок при проведении государственной инвентаризации лесов / И.С. Глушенков, О.И. Глушенков // Лесное хозяйство. – 2009. – № 2. – С. 46-47.

Статья поступила в редакцию 20.06.11.

V. L. Chernykh, V. P. Besschetnov, E. S. Vdovin.

**FOREST STRATUM DYNAMICS AND WOOD STOCK ESTIMATION ACCURACY
ON THE EXAMPLE OF FOREST INVENTORY OF MARI EL REPUBLIC
SCIENTIFIC-EXPERIMENTAL FORESTRY**

Estimation of wood fund dynamics of scientific-experimental forestry from 1984 to 2003 with application of GIS-technologies is presented. A detailed analysis of forest stratum dynamics is given. Calculation of optimum quantity of the sampled plots for carrying out of sampled inventory on the basis of data of three consecutive periods of forest management is performed.

Key words: forest inventory, probability, selective measurement, stratum, sampled plots, reserves estimation, variability, accuracy.

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

E-mail: sitlx@mail.ru

БЕССЧЕТНОВ Владимир Петрович – доктор биологических наук, профессор, декан факультета лесного хозяйства, заведующий кафедрой лесных культур Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. Область научных интересов – лесные культуры, селекция и интродукция древесных и кустарниковых видов, проблемы эффективности лесной селекции и совершенствования селекционного потенциала природных популяций и плюсовых деревьев основных лесобразующих пород. Автор 116 публикаций.

E-mail: lesfak@bk.ru

ВДОВИН Евгений Сергеевич – аспирант кафедры лесной таксации и лесоустройства МарГТУ. Область научных интересов – обработка изображений, математическое моделирование и информационные технологии в лесном хозяйстве. Автор 15 публикаций.

E-mail: vdovin_evgenii@inbox.ru

УДК630*581/584:630*23

*Э. А. Курбанов, Т. В. Нуреева, О. Н. Воробьев, А. В. Губаев,
С. А. Лежнин, Т. Ф. Мифтахов, С. А. Незамаев, Ю. А. Полевщикова*

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ДИНАМИКИ НАРУШЕНИЙ ЛЕСНОГО ПОКРОВА, ЛЕСОВОЗОБНОВЛЕНИЯ И ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ В МАРИЙСКОМ ЗАВОЛЖЬЕ

Рассмотрены вопросы использования разновременных спутниковых снимков среднего разрешения LandsatTM и ETM+ 1985-2010 гг. для исследования мониторинга нарушений лесов, процессов зарастания земель запаса и перераспределения, оценки площадей лесных культур на территории западной части Марийского лесного Заволжья.

Ключевые слова: дистанционное зондирование земли, лесные нарушения, земли запаса и перераспределения, геоинформационные системы, спутниковые снимки, лесовосстановление.

Введение. В последние десятилетия во всем мире дистанционный мониторинг за ростом и продуктивностью лесных насаждений является активно развивающейся областью научных исследований. В первую очередь это связано с широкой доступностью для ученых и специалистов спутниковых снимков среднего и высокого разрешений, а также быстро развивающимся рынком программных продуктов по работе с данными дистанционного зондирования.

Большой практический интерес у арендаторов леса и работников лесничеств вызывают тематические карты динамики роста молодняков искусственного и естественного происхождения, сделанные на основе разновременных спутниковых снимков. Такие сведения позволяют оперативно отслеживать происходящие изменения, планировать проведение лесохозяйственных мероприятий по уходу за молодыми насаждениями, а также совершенствовать прогнозы развития лесных ландшафтов и территорий. Особый интерес представляют бывшие сельскохозяйственные угодья (земли запаса и перераспределения), которые после экономических реформ 90-х гг. прошлого века активно зарастают древесно-кустарниковой растительностью, а также процессы воспроизводства на вырубках [1]. Лесовосстановление на вырубках и бывших сельскохозяйственных угодьях является важным процессом с точки зрения влияния молодого лесного покрова на экологические процессы, такие, как эрозия, гидрологический цикл, депонирование углерода, формирование лесной среды.

Использование разновременных спутниковых снимков для мониторинга за землепользованием началось в прошлом веке на основе данных грубого разрешения (AVHRR и MODIS). Но для оценки динамики изменений в лесном фонде более широкое применение нашли снимки спутника Landsat. В США были осуществлены крупные проекты по картированию лесных нарушений и их лесовосстановлению, по результатам которых создана карта изменений на территории 48 штатов с использованием снимков Landsat с 10-летним интервалом [2]. В проекте «Динамика лесов Северной Америки» (NAFD) были исследованы лесные нарушения и лесовосстановление на 23 участках в США на основе ежегодных или двухлетних сцен Landsat [3]. Интересным продолжением этого проекта явилось исследование по методу траектории обнаружения изменений (changedetection) [4]. По этому методу попиксельные спектральные данные на разновременных спутниковых снимках с инте-

рвалом 20 лет сравнивались с известными наземными объектами, пройденными различными видами рубок главного и промежуточного пользования. Было установлено, что пиксели на вырубках имели экспоненциальную форму снижения спектральной яркости с момента вырубки и зарастания ее лесной растительностью. В другом исследовании ученые провели картирование различных участков лесовозобновления на ландшафтном уровне в Западном Орегоне путем использования серии изображений Landsat за 19-летний период [5]. На основе данных лесной инвентаризации и единовременных сцен Landsat была создана регрессионная модель проективного распределения деревьев, которая в дальнейшем была распространена на все 19 изображений Landsat. Для разновременных изображений была использована радиометрическая нормализация на основе псевдоинвариантных характеристик. Траектории лесовозобновления на вырубках были определены для трех групп рубок, а сами изучаемые территории были сгруппированы в четыре класса лесовосстановления с использованием непараметрической классификации.

Исследования, проведенные в Скандинавии, свидетельствуют о том, что посадки лиственных пород на бывших фермерских участках дают высокую продуктивность и имеют существенный потенциал для производства древесной биомассы [6]. Для региона Верхнего Поволжья было установлено, что на начальных стадиях расселения растительности на лугах и залежах участвуют 10-12 видов древесно-кустарниковых пород, основными из которых являются береза, сосна, ива, ольха серая, осина [7].

Целью работы было исследование динамики нарушенности земель лесного фонда, лесных культур и зарастающих лесной растительностью земель запаса и перераспределения Марийского лесного Заволжья за 25-летний период по разновременным спутниковым снимкам Landsat-7 ETM+, для выполнения которой были решены следующие **задачи**:

1) заложены пробные площади (тестовые участки) на территории ГКУ «Юринское» и «Килемарское» лесничества, Учебно-опытного лесхоза ФГБОУ ВПО МарГТУ, а также землях запаса (перераспределения) исследуемого региона для оценки точности создаваемых тематических карт;

2) подобран комплект мультиспектральных спутниковых снимков LandsatTM и ETM+ с 1985 по 2010 гг. на исследуемую территорию, которые были трансформированы в трехканальные изображения (яркость, зелень и влажность) с помощью модуля «TasseledCap» в программном комплексе ENVI-4.8 (рис. 1);

3) на всех исследуемых снимках выделены участки сплошных рубок, лесных пожаров, лесных культур и зарастающих участков земель перераспределения;

4) проведена управляемая классификация снимков для выявления динамики нарушений в лесном фонде, а также оценки площадей лесных культур и зарастающих лесной растительностью земель запаса Марийского Заволжья.

Техника эксперимента и методика исследований. Полевые исследования были проведены с июня по сентябрь 2008-2011 гг. В процессе работы были максимально исследованы густота и сомкнутость крондеревьев древесной растительности на трансектах, заложенных от опушек материнского леса до окончания распространения возобновившегося молодого леса на землях запаса и перераспределения [8].

Географические координаты каждого тестового участка фиксировались с помощью GPS-приёмника GARMIN eTrex. Всего на зарастающих землях запаса и перераспределения было заложено 68 тестовых участков, а в лесных культурах – 25.

Для характеристики роста молодых насаждений был проведен анализ разновременных (мультивременных) снимков LandsatTM и ETM+ (WRS-2, path 172row 21), сделанных в летнее время. Снимки прошли радиометрическую и геометрическую обработку уровня 1G. Для устранения различий на снимках Landsat, сделанных в различные периоды фенологического состояния растительного покрова (май–август), изображения проходили процедуру эмпирического линейного преобразования координат пространства спектральных призна-

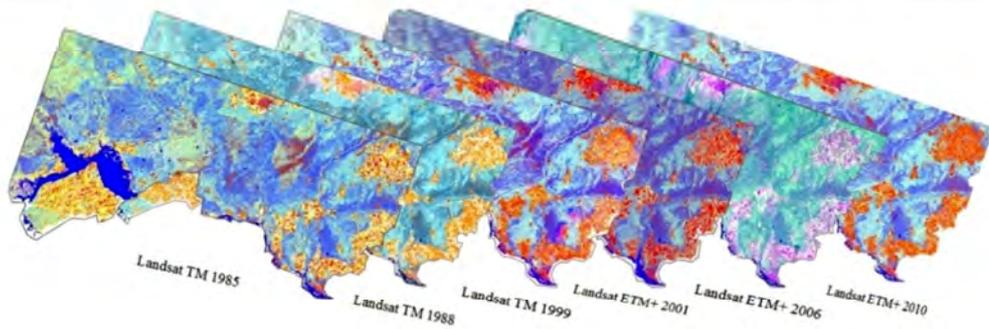


Рис. 1. Серия разновременных спутниковых изображений Landsat 1985-2010 гг.

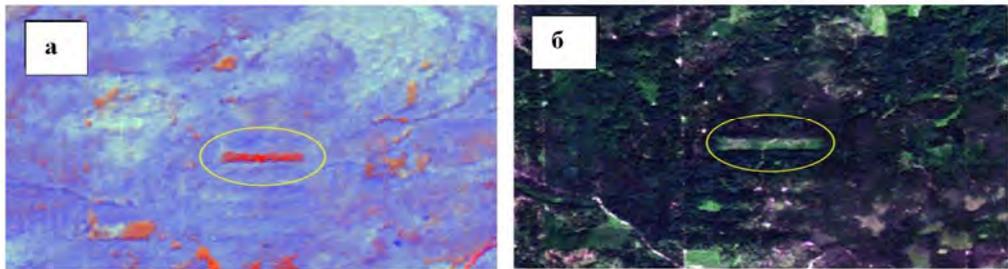


Рис.2. Объект обучающей выборки – сплошная вырубка леса: а) на снимке Landsat TM 1988 г., б) на снимке Alos 2006 г.

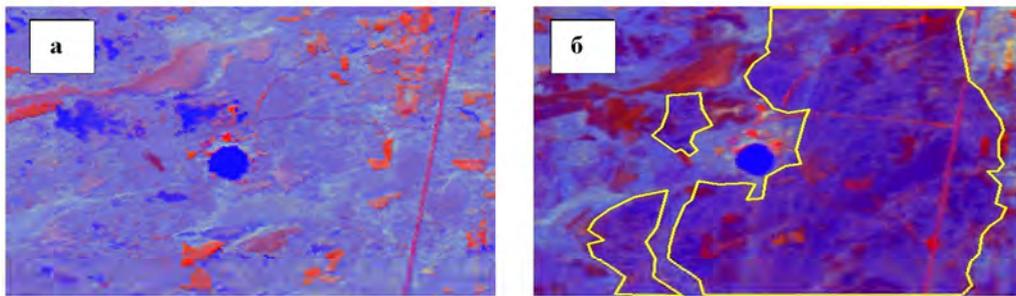


Рис. 3. Объект обучающей выборки (ROI) – лесные пожары: а) на снимке Landsat ETM+ 2001 г. до пожаров, б) на снимке Landsat ETM+ 2010 г. после пожаров

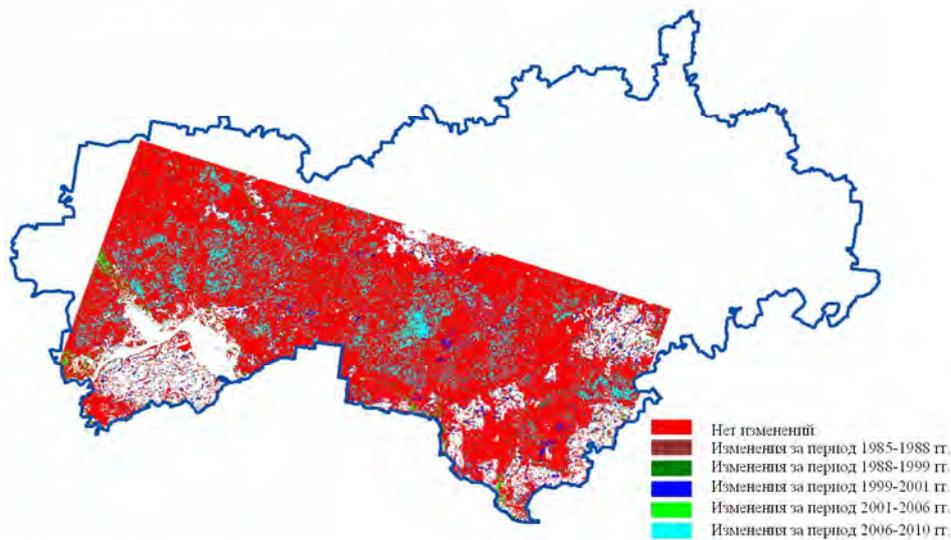


Рис. 4. Тематическая карта нарушенности растительного покрова, выполненная для части территории Марийского Заволжья по шести разновременным спутниковым снимкам Landsat 1985-2010 гг.

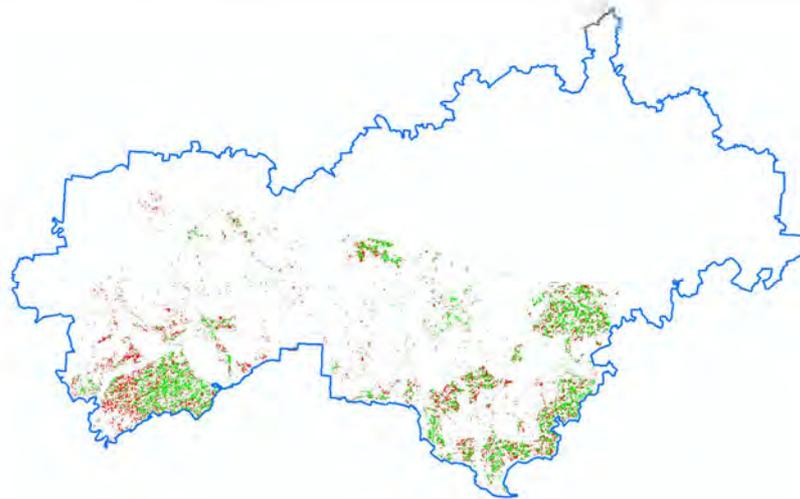


Рис. 5. Тематическая карта зарастания сельскохозяйственных земель древесно-кустарниковой растительностью в Марийском Заволжье между 1985 и 2010 гг. Зеленым цветом показаны площади, на которых не произошли изменения, красный цвет свидетельствует о зарастании земель запаса древесно-кустарниковой растительностью



Рис. 6. Зарастающий лесной растительностью участок земель фонда перераспределения, расположенный рядом с селом Озерки Звениговского района РМЭ: а) кадастровый план участка 2011 г., б) зарастание участка лесной растительностью на спутниковом снимке Alos 2009 г., в) этот же участок на тематической карте (красный цвет свидетельствует о зарастании участка молодой лесной растительностью, зеленый цвет – отсутствие изменений)

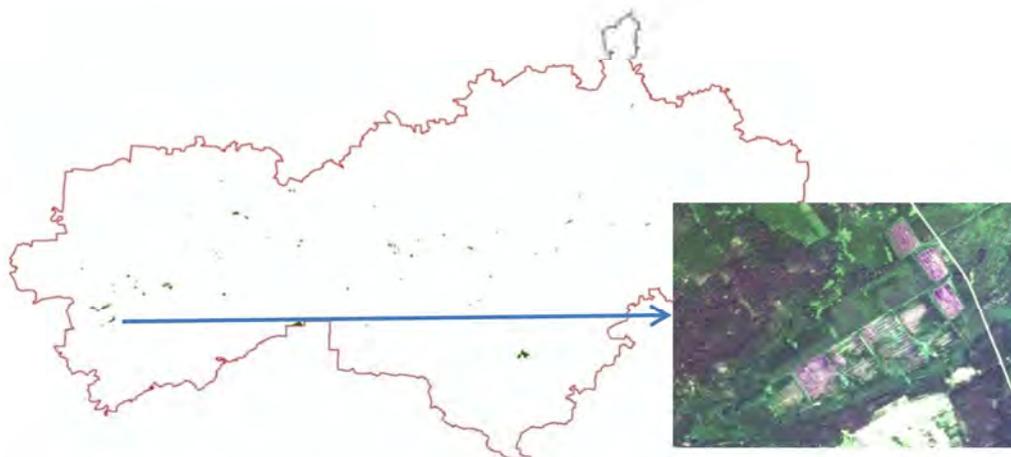


Рис. 7. Тематический слой участков лесных культур (возрастом до 10 лет) на территории Марийского Заволжья на снимке LandsatETM+ 2010 г.

ков *tasseledcap* («колпак с кисточкой»). Этот алгоритм, широко используемый в изучении растительного покрова, позволяет выделять на каждом из мультиспектральных изображений три важные ортогональные координаты – «яркость», «зелень» и «влажность» («brightness», «greenness», «wetness») [9]. В работе мы использовали координаты «яркости» и «зелени» пространства спектральных признаков. Далее на каждый из исследуемых снимков (*tasseledcap*) накладывалась маска слоя «Лес» изучаемого района, состоящая из классов хвойных и лиственных пород. Этот слой-маска был получен путем объединения всех лесных классов карты снимка LandsatETM+ 2001 г.[10].

На каждом разновременном снимке Landsat, начиная с 1988 по 2010 гг., были созданы 70 обучающих выборок (*regionsofinterest*, ROI) на площадях лесных насаждений, которые не были затронуты изменениями (нарушениями). На этих же снимках Landsat экспертной оценкой и сравнением со снимками более высокого разрешения Alos были выделены 60 участков ROI, на которых произошли нарушения (сплошные вырубки и пожары) (рис. 2, 3). На всех разновременных спутниковых снимках Landsat была проведена управляемая классификация методом «максимального правдоподобия» для получения тематической карты изменений в лесном покрове за весь изучаемый период времени.

Такие же обучающие выборки были созданы на снимках Landsat для участков земель запаса и перераспределения. На этих участках были выделены 60 ROI, на которых произошли изменения (зарастание молодой лесной растительностью), и 65 ROI, которые с течением времени остались неизменными. Для проведения валидации вновь созданной тематической карты зарастающих земель запаса использованы кадастровые данные по сельскохозяйственному фонду Министерства государственного имущества РМЭ.

Результаты исследований. Анализируя полученную карту нарушенности лесного покрова части территории Марийского Заволжья (рис. 4), можно отметить, что большое влияние на нее оказали сплошные рубки 1985-1989 гг., когда в полном объеме осваивался весь лесосечный фонд региона исследований. В те годы рубкам были подвержены 50,8 тыс. га лесных насаждений (табл.), расположенные на площади снимка Landsat. С 1989 по 1999 гг. наблюдается значительное снижение рубок главного пользования, что также сказывается на площади нарушенности территории лесного фонда. Больше всего нарушений (121 тыс. га) в исследуемом регионе наблюдается между 2006-2010 гг., что объясняется аномально жаркими погодными условиями на территории Среднего Поволжья и лесными пожарами 2010 года.

Распределение нарушенных площадей (вырубок и лесных пожаров) на тематической карте, полученной по разновременным спутниковым снимкам Landsat, га

нет изменений	1985-1989 гг.	1989-1999 гг.	1999-2001 гг.	2001-2006 гг.	2006-2010 гг.
791855,1	50821,3	18381,9	24991,8	15696,4	121241,5

Вновь полученная тематическая карта (слой) динамики изменений земель запаса и перераспределения позволила провести оценку их зарастания древесно-кустарниковой растительностью (рис. 5). Было установлено, что зарастание растительностью наблюдается на площади 45 тыс. га, что составляет 46 % от всей территории исследуемых земель запаса и перераспределения (95,8 тыс. га). Это свидетельствует об устойчивом процессе захвата брошенных сельскохозяйственных земель древесной растительностью.

Валидация полученных данных по зарастающим сельскохозяйственным угодьям (землям запаса и перераспределения) показала высокую степень достоверности тематической карты и ее соответствие полевым данным. Натурное обследование участков земель запаса и перераспределения, выявленных на вновь полученной тематической карте методом управляемой классификации, подтвердило наличие на них молодой древесно-кустарниковой рас-

тельности. Принадлежность исследуемых участков землям фонда запаса и перераспределения подтверждается кадастровыми данными Министерства государственного имущества Республики Марий Эл (рис. 6).

Участки вырубок на снимках дешифрируются достаточно хорошо, в то время как распознавание площадей вырубок с созданными на них лесными культурами было менее точным. На снимках Landsat 2010 г. удалось выделить лесные культуры (рис. 7) возрастом до 10 лет, особенно 5–10-летние насаждения, площадь которых составила 4,7 тыс. га.

На снимках среднего разрешения искусственные насаждения старше 10 лет сливаются с общим фоном соседних насаждений старшего возраста, что приводит к сложности их классификации в качестве категории лесных культур. Подобную закономерность при исследовании лесных культур и молодых насаждений естественного происхождения на снимках Landsat на территории Скандинавии отмечали и другие ученые [11, 12]. Между тем, мониторинг состояния лесных культур с использованием спутниковых снимков имеет большие перспективы для регулирования хозяйственных мероприятий с целью ускоренного роста, выполнения ими защитных функций и накопления фитомассы.

Выводы.

1. Проведенные исследования показали высокую важность спутниковых снимков среднего разрешения Landsat TM и ETM+ и возможность их обработки в современных программных геоинформационных комплексах для проведения дистанционного мониторинга нарушенности земель лесного и сельскохозяйственного назначения. Общая площадь нарушений (сплошные вырубки и пожары) в лесном фонде на территории исследуемого региона (западная часть РМЭ) между 2006-2010 гг. составила 121 тыс. га.

2. На снимках Landsat 2010 г. на исследуемую территорию лесные культуры классифицируются возрастом до 10 лет. Посадки молодых насаждений в возрасте до пяти лет, созданные на вырубках лесного фонда, практически не идентифицируются. Искусственные посадки старше 10 лет начинают сливаться с общим фоном соседних насаждений старшего возраста, что приводит к сложности их выделения в качестве отдельного класса лесных культур. Более детальный мониторинг состояния лесных культур может быть осуществлен с использованием спутниковых снимков высокого разрешения.

3. Предложенная методика исследований мониторинга зарастания древесно-кустарниковой растительностью земель запаса показала высокую точность в процессе валидации полученных тематических карт на местности. По результатам исследований было установлено, что зарастание растительностью наблюдается на площади 45 тыс. га бывших сельскохозяйственных земель Республики Марий Эл, что составляет 46 % от всей территории исследуемых земель запаса и перераспределения (95,8 тыс. га) и свидетельствует о продолжающемся процессе захвата брошенных сельскохозяйственных земель древесной растительностью.

Список литературы

1. Курбанов, Э.А. Оценка зарастания земель запаса Республики Марий Эл лесной растительностью по спутниковым снимкам / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, С.А. Незамаев, Т.А. Александрова // Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2010. – № 2(9). – С. 14-20.

2. Masek, J.G. North American forest disturbance mapped from a decadal Landsat record / J.G. Masek, C. Huang, R. Wolfe, W. Cohen, F. Hall, J.Kutler, P. Nelson // Remote Sensing of Environment. – 2008. – № 112. – P. 2914 – 2926.

3. Cohen, W.B. An improved strategy for regression of biophysical variables and Landsat ETM+ data / W.B. Cohen, T.K. Maieringer, S.T. Gower, D.P. Turner // Remote Sensing of Environment. – 2003. – № 84. – P. 561-571.

4. Kennedy, R.E. Trajectory based change detection for automated characterization of forest disturbance dynamics / R.E. Kennedy, W.B. Cohen, T.A. Schroeder // Remote Sensing of Environment. – 2007. – № 110. – P. 370–386.

5. Schroeder, T.A. Patterns of forest regrowth following clearcutting in western Oregon as determined from a Landsat time-series / T.A. Schroeder, W.B. Cohen, Z. Yang // Forest Ecology and Management. – 2007. – № 243. – P. 259–273.

6. Eriksson, E. Effects of rotation period on biomass production and atmospheric CO₂ emissions from broad-leaved stands growing on abandoned farmland / E. Eriksson, T. Johansson // *Silva Fennica*. – 2006. – № 40(4). – P. 603-613.

7. Уткин, А.И. О наступлении лесной растительности на сельскохозяйственные земли в Верхнем Поволжье / А.И. Уткин, Т.А. Гульбе, Я.И. Гульбе, Л.С. Ермолова // *Лесоведение*. – 2002. – № 5. – С. 44-52.

8. Курбанов, Э.А. Пространственная динамика фитомассы березняков на бывших сельскохозяйственных землях Марийского Заволжья / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, Л.С. Устюгова, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, С.А. Незамаев // *Лесной журнал*. – 2010. – № 3 – С. 8-14.

9. Seto, K.C. Monitoring land-use change in the Pearl River Delta using Landsat TM/ K.C. Seto, C.E. Woodcock, C. Song, X. Huang, J. Lu, R.K. Kaufmann // *International Journal of Remote Sensing*. – 2002. – № 23(10). – P. 1985–2004.

10. Губаев, А.В. Классификация наземного покрова Среднего Поволжья по спутниковым снимкам среднего разрешения / А. В. Губаев, Э. А. Курбанов, О. Н. Воробьев, С. А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // *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>

11. Olsson, H. A method for using Landsat time series for monitoring young plantations in boreal forests / H. Olsson // *International Journal of Remote Sensing*. – 2009. – № 30 (19). – P. 5117 – 5131.

12. Nilson, T. Age dependence on forest reflectance: analysis of main driving factors/ T. Nilson, U. Peterson // *Remote Sensing of Environment*. – 1994. – № 48. – P. 319–331.

Статья поступила в редакцию 10.10.11.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы, ГК № 02.740.11.5202 Министерства образования и науки Российской Федерации «Региональная оценка методов картирования растительного покрова по спутниковым снимкам», 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 науки и образования РФ.

*E. A. Kurbanov, T. V. Nureeva, O. N. Vorobyev, A. V. Gubayev,
S. A. Leznin, T. F. Miftakhov, S. A. Nezamayev, Y. A. Polevshikova*

REMOTE MONITORING OF DISTURBANCES IN FOREST COVER, REFORESTATION AND AFFORESTATION OF MARI ZAVOLZHJE

The questions of the time series Landsat TM and ETM+ images use for the investigation of monitoring of forest disturbances, reforestation on abandoned agricultural lands, and estimation of the areas of forest plantations on the territory of Mari forest Zavolgie have been studied.

Key words: remote sensing, forest disturbances, abandoned agricultural lands, GIS, satellite images.

КУРБАНОВ Эльдар Аликрамович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства МарГТУ, руководитель Центра устойчивого управления лесами. Область научных интересов – устойчивое управление лесами, биологическая продуктивность лесных экосистем, депонирование углерода лесными экосистемами, дистанционное зондирование земли, леса Киото. Автор более 100 публикаций, в том числе учебно-методических работ.

E-mail: kurbanovea@marstu.net

НУРЕЕВА Татьяна Владимировна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ МарГТУ. Область научных интересов – искусственное лесовосстановление, плантационное лесовыращивание, производительность лесных культур. Автор более 40 публикаций, в том числе учебно-методических работ.

E-mail: NureevaTV@marstu.net

ВОРОБЬЕВ Олег Николаевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства МарГТУ. Область научных интересов – дистанционное зондирование лесов, депонирование углерода лесными экосистемами, мониторинг лесных экосистем. Автор более 30 публикаций, в том числе учебно-методических работ.

E-mail: vorobievon@marstu.net

ГУБАЕВ Александр Владимирович – соискатель кафедры лесоводства МарГТУ. Область научных интересов – дистанционное зондирование земли, биологическая продуктивность лесных экосистем. Автор более 20 публикаций.

E-mail: galex@marstu.net

ЛЕЖНИН Сергей Анатольевич – аспирант кафедры лесоводства МарГТУ. Область научных интересов – дистанционное зондирование земли, биологическая продуктивность лесных экосистем. Автор 15 публикаций.

E-mail: lejninsa@marstu.net

МИФТАХОВ Тимур Фаридович – аспирант кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ МарГТУ. Область научных интересов – искусственное лесовосстановление, плантационное лесовыращивание, производительность лесных культур сосны обыкновенной. Автор более 10 публикаций.

E-mail: MiftahovTF@marstu.net

НЕЗАМАЕВ Сергей Александрович – аспирант кафедры лесоводства МарГТУ. Область научных интересов – дистанционное зондирование земли, биологическая продуктивность лесных экосистем. Автор более 10 публикаций.

E-mail: nezamaevsa@marstu.net

ПОЛЕВЩИКОВА Юлия Александровна – программист кафедры лесоводства МарГТУ. Область научных интересов – дистанционное зондирование земли, биологическая продуктивность лесных экосистем. Автор более 10 публикаций.

E-mail: polevshikovaya@marstu.net

УДК 630*18 (470.343)

*Ю. П. Демаков, С. М. Швецов, В. И. Таланцев, К. К. Калинин***ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ЗОЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
В ГОДИЧНЫХ СЛОЯХ СТАРОВОЗРАСТНЫХ СОСЕН,
ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В ПОЙМЕННЫХ БИОТОПАХ**

Приведены данные, характеризующие зольный состав годичных колец старовозрастных деревьев сосны обыкновенной и динамику с 1850 по 2009 гг. содержания в них 11 различных металлов. Показано, что содержание ряда металлов в древесине и соотношения содержания разных элементов закономерно изменяются с возрастом деревьев.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, древесина, зольные элементы, факторы variability.

Введение. Усиление антропогенной нагрузки на леса и ухудшение их состояния обусловили необходимость ведения экологического мониторинга, эффективность которого во многом зависит от правильности выбора объектов и диагностических параметров. Одним из основных носителей информации о состоянии лесных экосистем являются, безусловно, деревья, а ее источником – годичные кольца. Закодированная в них информация, представляющая собой смесь сведений о динамике состояния самого дерева, его биотического окружения и внешней среды, требует «расшифровки» и глубокого анализа. Применяемые в настоящее время приемы и методы позволяют, однако, расшифровать лишь часть этой информации [1, 2]. Весьма перспективной может оказаться оценка содержания в них зольных элементов и анализ сопряженности его с радиальным приростом деревьев, поскольку химический состав их тканей изменяется в зависимости от погодных и лесорастительных условий, а также антропогенного воздействия [3–9].

Цель работы – изучение зольного состава годичных слоев древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), выявление закономерностей его динамики и взаимосвязей между химическими элементами.

Материал и методика. Исходный материал представлен кернами древесины, взятыми с 47 деревьев сосны возрастом от 40 до 175 лет в сложных по составу и возрастной структуре насаждениях, произрастающих на дерновых среднеглинистых аллювиально-слабоподзолистых пойменных почвах в ТЛУ D₂₋₃ в лесопарках г. Йошкар-Олы (Сосновая роща – 17 деревьев, Дубовая роща – 30 деревьев).

На кернах сначала было проведено измерение ширины годичных слоев с погрешностью $\pm 0,05$ мм. После этого их разделяли на слои по 20-летиям, высушивали до абсолютно сухого состояния при температуре 110°C, измельчали, взвешивали и сжигали в муфельной печи при температуре 450°C. Содержание элементов в золе определяли на атомно-абсорбционном спектрометре AAnalyst 400. Подготовку образцов к анализу проводили по типовым методикам [10, 11]. Для пересчета содержания элемента в сухом образце использовали формулу $C_3 = C_P \cdot V_P \cdot M_3 / M_H \cdot M_C$, где C_3 – содержание элемента в сухом образце, мг/кг; C_P – концентрация элемента в растворе, мг/л; V_P – объем раствора, в котором была растворена зола (50 мл для Ca, K, Mg, Mn, Zn, Fe, Cu и 25 мл для Pb, Ni, Cd и Co); M_3 – масса золы, г; M_H – масса навески, г; M_C – масса высушенного образца, г. Цифровой материал обработан на ПК с использованием стандартных методов математической статистики [12].

Результаты и обсуждение. Анализ полученного материала показал, что более всего содержится в древесине кальция (табл. 1), являющегося основой оболочки клеток. За ним следуют магний и калий, участвующие в процессе метаболизма. На порядок меньше содержится в образцах железа, марганца, цинка и меди. Замыкают ранговый ряд металлов Ni, Cd, Pb и Co. Содержание металлов в образцах варьирует в довольно больших пределах. Особенно высока изменчивость содержания в древесине никеля. Меньше всего изменяется содержание золы, Zn, Ca, Cu, Cd и Fe. Связь между содержанием металлов в образцах и коэффициентом его вариации практически отсутствует. Содержание элементов в древесине сосен в определенной мере зависит как от особенностей биотопов, так и периода времени образования годичных слоев (табл. 2). Содержание Ca, Mg, Mn и Cd в лесопарке «Сосновая роща» достоверно выше, а Pb ниже, чем в лесопарке «Дубовая роща» (табл. 3). Причина этого различия является не вполне ясной, требующей дальнейших исследований.

Таблица 1

Изменчивость содержания химических элементов в древесине сосен

Элемент	Значения статистических показателей*						
	M_x	min	max	S_x	m_x	V, %	P, %
Зола	0,31	0,24	0,52	0,07	0,02	21,1	5,3
Ca	803,4	595,4	1617,3	243,7	60,9	30,3	7,6
Mg	287,6	143,8	639,8	121,0	30,2	42,1	10,5
K	251,7	126,7	483,9	121,3	30,3	48,2	12,1
Fe	33,3	18,5	59,8	12,3	3,1	37,1	9,3
Mn	11,0	6,3	27,9	4,9	1,2	44,8	11,2
Zn	4,16	2,84	8,38	1,23	0,31	29,5	7,4
Cu	1,12	0,75	2,18	0,35	0,09	31,7	7,9
Ni	0,51	0,03	3,21	0,96	0,24	186,4	46,6
Cd	0,13	0,058	0,233	0,048	0,012	35,4	8,8
Pb	0,11	0,019	0,242	0,057	0,014	51,2	12,8
Co	0,11	0,061	0,255	0,046	0,012	41,9	10,5

Примечание: содержание золы выражено в %, а остальных элементов – в мг/кг абсолютно сухой массы древесины.

Таблица 2

Факторы дисперсии содержания элементов в древесине сосен

Элемент	Фактор дисперсии и доля его влияния				Доля ошибки, %
	Условия биотопа ($F_{0,05} = 5,59$)		Период времени ($F_{0,05} = 3,79$)		
	$F_{\text{факт.}}$	Доля влияния, %	$F_{\text{факт.}}$	Доля влияния, %	
Зола	3,74	16,1	1,79	53,8	30,1
Ca	8,26	10,7	8,90	80,3	9,0
Mg	13,70	18,9	7,39	71,4	9,7
K	0,63	1,2	6,39	85,4	13,4
Fe	0,12	0,6	1,76	63,4	36,0
Mn	6,05	24,2	1,71	47,9	28,0
Zn	1,92	7,0	2,62	67,3	25,7
Cu	4,90	11,5	4,36	72,0	16,5
Ni	0,12	0,0	35,96	97,2	2,7
Cd	15,66	9,3	20,69	86,5	4,2
Pb	20,69	66,0	0,52	11,6	22,3
Co	2,95	5,1	6,86	82,8	12,1

Таблица 3

Содержание золы и металлов в древесине сосны обыкновенной пойменных биотопов

Временной интервал	Средний возраст, лет*	Содержание элементов в древесине, мг/кг абсолютно сухой массы											
		Зола, %	Ca	Mg	K	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Cd	Pb	Co
<i>Дубовая роща</i>													
1850-1869 гг.	7	0,29	1097,4	437,7	184,5	24,32	10,580	4,719	1,247	0,052	0,093	0,144	0,175
1870-1889 гг.	14	0,26	727,3	196,0	146,9	53,63	8,593	3,876	0,978	0,101	0,087	0,161	0,084
1890-1909 гг.	25	0,24	595,4	151,1	132,1	34,05	7,837	3,220	0,861	2,623	0,058	0,164	0,081
1910-1929 гг.	39	0,24	681,4	143,8	126,7	25,98	9,478	2,837	0,777	0,153	0,099	0,126	0,061
1930-1949 гг.	54	0,27	657,2	172,5	182,5	18,52	9,302	3,477	0,752	0,583	0,151	0,242	0,073
1950-1969 гг.	71	0,32	717,0	233,3	292,5	28,14	9,371	4,495	0,938	0,167	0,182	0,141	0,093
1970-1989 гг.	91	0,32	673,2	284,9	361,1	27,57	7,884	4,404	1,058	0,377	0,170	0,150	0,114
1990-2009 гг.	111	0,35	662,1	273,9	483,9	46,34	6,271	3,764	1,394	0,207	0,122	0,111	0,117
Среднее	-	0,29	726,4	236,7	238,8	32,32	8,665	3,849	1,001	0,533	0,120	0,155	0,100
Минимум	-	0,24	595,4	143,8	126,7	18,52	6,271	2,837	0,752	0,052	0,058	0,111	0,061
Максимум	-	0,35	1097,4	437,7	483,9	53,63	10,580	4,719	1,394	2,623	0,182	0,242	0,175
<i>Сосновая роща</i>													
1850-1869 гг.	16	0,52	1617,3	639,8	415,9	59,81	27,870	8,384	2,181	0,156	0,156	0,042	0,255
1870-1889 гг.	23	0,30	826,2	285,4	150,3	36,46	10,680	4,083	1,315	0,117	0,106	0,067	0,112
1890-1909 гг.	32	0,29	769,3	255,6	147,3	25,32	9,759	3,944	1,045	3,214	0,088	0,083	0,102
1910-1929 гг.	49	0,29	768,0	287,8	176,3	23,41	9,551	3,584	0,879	0,056	0,101	0,101	0,101
1930-1949 гг.	68	0,29	776,8	373,2	220,9	22,17	11,220	3,838	0,851	0,026	0,162	0,045	0,104
1950-1969 гг.	76	0,32	806,1	301,1	226,1	26,59	15,110	4,375	1,027	0,058	0,233	0,019	0,092
1970-1989 гг.	83	0,32	750,0	292,2	321,3	31,17	12,660	4,163	1,128	0,130	0,195	0,088	0,093
1990-2009 гг.	103	0,37	729,2	273,0	458,3	48,75	10,030	3,473	1,443	0,182	0,146	0,082	0,100
Среднее	-	0,34	880,4	338,5	264,6	34,21	13,360	4,481	1,234	0,492	0,148	0,066	0,120
Минимум	-	0,29	729,2	255,6	147,3	22,17	9,551	3,473	0,851	0,026	0,088	0,019	0,092
Максимум	-	0,52	1617,3	639,8	458,3	59,81	27,870	8,384	2,181	3,214	0,233	0,101	0,255

* отображен средний возраст деревьев в выборке в пределах конкретного временного интервала.

Существенно различаются между собой, как свидетельствуют приведенные данные, годовые слои древесины разных лет по содержанию в них Ca, Mg, K, Cu, Ni, Cd и Co. В этом случае можно предположить несколько версий изменения содержания металлов в древесине, обусловленного:

- 1) неодинаковой интенсивностью протекания физиологических процессов деревьев и потребления ими элементов питания в разном возрасте;
- 2) поступлением химических веществ в лесные экосистемы из каких-либо внешних источников;
- 3) комплексом внешних и внутренних факторов, а также взаимоотношением элементов между собой, приводящих к ингибированию или усилению их потребления растениями.

Если принять в качестве исходной гипотезы первое предположение, то должна прослеживаться связь между содержанием зольных элементов в годовых слоях и возрастом деревьев, описываемая гладкой математической функцией, не имеющей резких переломов и многих перегибов. Расчеты показали, что довольно четко изменяется с возрастом деревьев зольность древесины и содержание в ней калия (рис. 1). Эти зависимости хорошо аппроксимируют следующие полиномы:

- по зольности $Z = 0,30 - 0,27 \cdot X + 0,56 \cdot X^2 - 0,24 \cdot X^3$; $R^2 = 0,748$;

- по содержанию калия $Y = 183,0 - 279,7 \cdot X + 514,7 \cdot X^2$; $R^2 = 0,966$;

где Z – зольность слоя древесины, %; Y – содержание в древесине калия, мг/кг абсолютно сухой массы; $X = A/100$; A – возраст слоя древесины, лет.

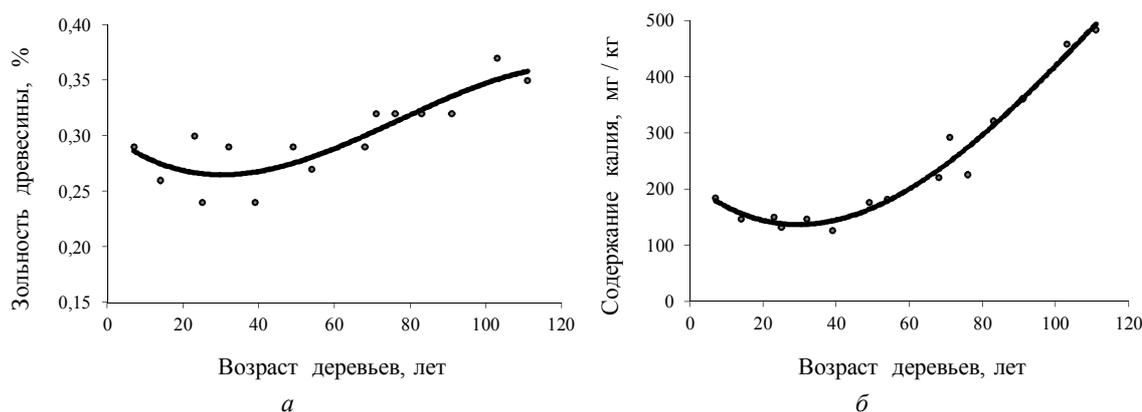


Рис. 1. Динамика зольности древесины сосен (а) и содержания в ней калия (б)

Приведенные графики показывают, что минимум зольности древесины и содержания в ней калия приходится на возраст 25-30 лет. По мере дальнейшего увеличения возраста деревьев значения показателей неуклонно возрастают. Из общего ряда показателей значительно отклоняется в сторону увеличения значения одна точка по Сосновой роще, относящаяся к самому молодому возрасту. Это связано, по всей вероятности, с особенностями эдафических условий и происхождением древостоя, возникшего, как можно предполагать, на месте заброшенных сельскохозяйственных угодий, о чем свидетельствует преобладание в насаждениях сосны в несвойственных для нее условиях произрастания. В Дубовой же роще деревья сосны встречаются лишь единично, что указывает на сукцессионную зрелость лесных биогеоценозов. Такой характер изменения показателей связан, возможно, с разной интенсивностью роста деревьев в различные периоды их возраста (рис. 2). Так, в лесопарке «Сосновая роща» наибольший годичный прирост отмечался в самом молодом возрасте. Этот факт служит дополнительным свидетельством возникновения древостоя на не покрытых лесом землях. В Дубовой роще ход роста деревьев иной, и коэффициент корреляции между рядами значений составляет 0,788. Расчеты показали, что связь зольности

древесины и содержания в ней калия с шириной годичных колец менее тесная, чем с возрастом деревьев. Таким образом, можно утверждать, что изменение значений показателей связано не с абсолютной величиной годичного прироста деревьев, а с неодинаковым потреблением элементов питания в разном возрасте для построения тканей древесины: минимум зольности древесины и содержания в ней калия приходится на возраст 25-30 лет, но прирост в это время максимален.

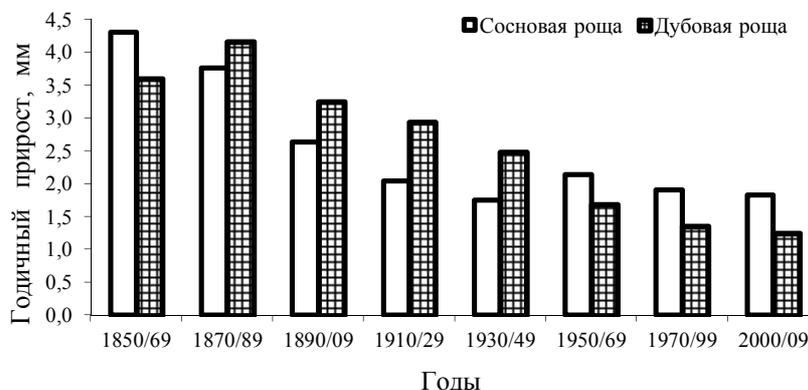


Рис. 2. Динамика радиального прироста деревьев сосны в биотопах

Содержание Cd, Cu, Zn и Fe в древесине изменяется волнообразно (рис. 3), что аппроксимируют следующие периодические функции:

- по кадмию $Y = 0,055 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot A / 103 + 2,99) + 0,139$; $R^2 = 0,752$;

- по меди $Y = 0,33 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot A / 152 + 2,59) + 1,157$; $R^2 = 0,708$;

- по цинку $Y = 0,56 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot A / 80 + 1,46) + 3,85$; $R^2 = 0,604$;

- по железу $Y = 12,31 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot A / 98 + 0,92) + 31,2$; $R^2 = 0,549$;

где Y – содержание в древесине элемента, мг/кг абсолютно сухой массы; A – возраст слоя древесины, лет. Волнообразно, с периодом 174 года изменяется и содержание в древесине золы. Причина периодичности изменения содержания элементов пока не ясна и требует дальнейших исследований.

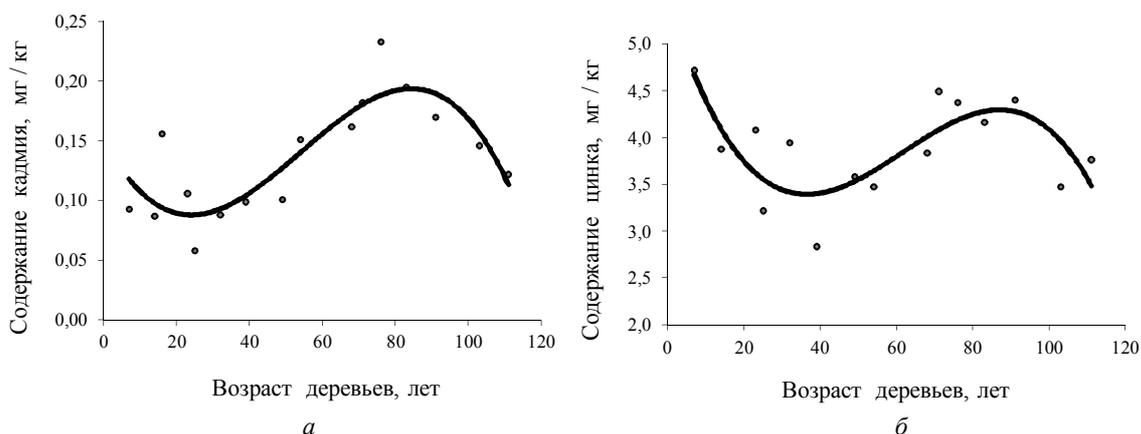


Рис. 3. Динамика содержания кадмия (а) и цинка в древесине сосен (б)

Содержание Ca, Mg, Mn, Pb и Co изменяется бессистемно, флуктуируя вокруг среднего уровня (рис. 4). Исключением является период времени с 1850 по 1869 гг., представленный небольшим числом образцов и малой навеской, обусловившей погрешность полученных результатов анализа. Кардинальные отличия имеет динамика никеля, у которого отмечается резкое увеличение содержания в 1890-1909 гг. (в Дубовой роще в 11,2 раза по сравнению с фоном, а в Сосновой роще – в 31 раз!), сопоставимого с содержанием этого металла в деревьях, произрастающих вблизи металлургического комбината [6, 8]. Причина данного

феномена не совсем ясна и связана с какими-то природными явлениями (возможно, с выпадением метеорных дождей, в которых содержится много никеля), но не с антропогенной деятельностью, поскольку этот металл в то время еще широко не использовался, да и промышленность на данной территории тогда практически отсутствовала.

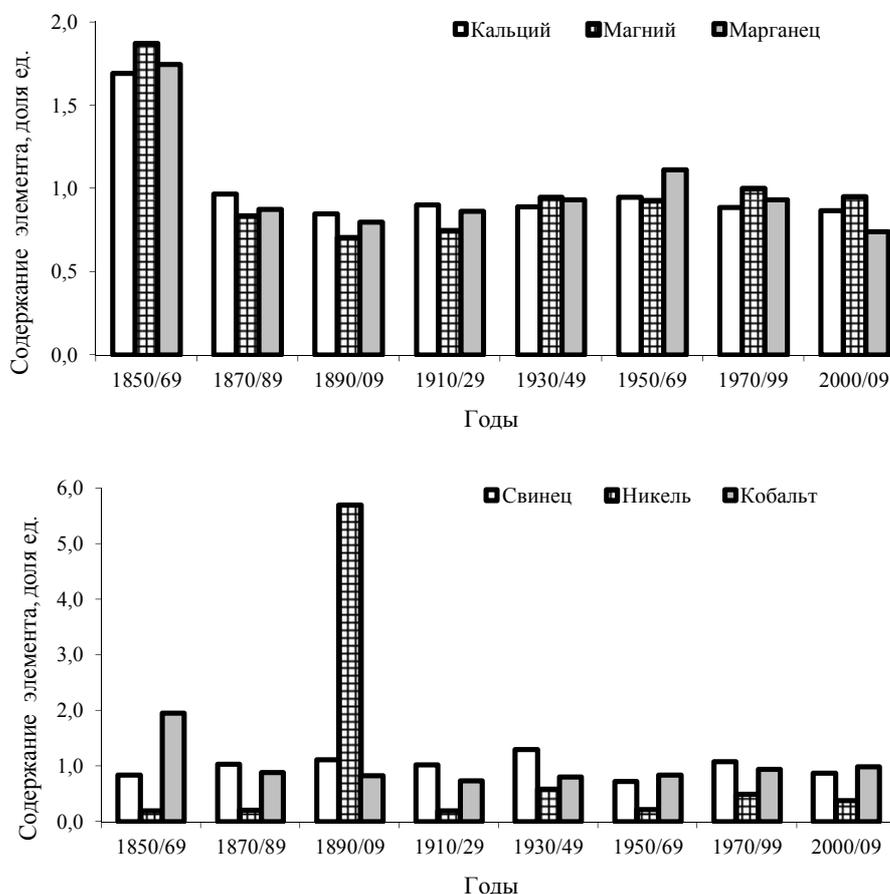


Рис. 4. Динамика относительного содержания различных металлов в древесине сосен

Установленная некоторыми исследователями [3, 5] связь между величиной прироста деревьев и уровнем зольности древесины, а также содержанием в ней кальция не подтвердилась. Выявлена положительная умеренная связь прироста с содержанием К, Mg, Fe, а отрицательная – с содержанием Ni. Содержание в древесине большинства металлов практически не связано с величиной текущего радиального прироста деревьев, но тесно коррелирует между собой, а также с величиной зольности (табл. 4), что свидетельствует о высокой сбалансированности химического состава древесины, в отличие от химического состава хвои [9]. Особенно тесные связи отмечаются между содержанием Co и Ca, Zn и Ca, Mg и Ca, Co и Mg, Co и Zn. Зависимости, которые можно использовать для оценки содержания одного элемента по содержанию другого, отображаются следующими уравнениями:

$$[Co] = 10^{-5} \cdot 2,83 \cdot [Ca]^{1,234}; R^2 = 0,894;$$

$$[Zn] = 10^{-3} \cdot 8,06 \cdot [Ca]^{0,934}; R^2 = 0,855;$$

$$[Co] = 10^{-4} \cdot 3,97 \cdot [Mg]^{0,992}; R^2 = 0,888;$$

$$[Mg] = 10^{-2} \cdot 10,1 \cdot [Ca]^{1,188}; R^2 = 0,841;$$

$$[Co] = 10^{-2} \cdot 1,89 \cdot [Zn]^{1,225}; R^2 = 0,839;$$

$$[Cu] = 5,2 \cdot [Z]^{1,322}; R^2 = 0,845;$$

где [Co], [Zn], [Mg], [Cu] – содержание в древесине соответствующего элемента, мг/кг; [Z] – содержание золы в древесине, %.

Таблица 4

Матрица коэффициентов корреляции между содержанием элементов в древесине

Элемент	Значения коэффициентов корреляции между элементами										
	Зола	Ca	Mg	K	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Cd	Pb
Зола	1,00										
Ca	0,77	1,00									
Mg	0,81	0,92	1,00								
K	0,75	0,24	0,42	1,00							
Fe	0,62	0,43	0,35	0,52	1,00						
Mn	0,80	0,90	0,81	0,26	0,41	1,00					
Zn	0,86	0,93	0,88	0,40	0,49	0,89	1,00				
Cu	0,92	0,81	0,80	0,64	0,75	0,72	0,82	1,00			
Ni	-0,26	-0,21	-0,29	-0,33	-0,15	-0,19	-0,18	-0,19	1,00		
Cd	0,40	0,10	0,26	0,46	-0,11	0,36	0,29	0,12	-0,47	1,00	
Pb	-0,49	-0,41	-0,54	-0,25	-0,23	-0,53	-0,37	-0,46	0,16	-0,36	1,00
Co	0,81	0,94	0,94	0,41	0,47	0,77	0,92	0,87	-0,17	0,05	-0,35

Между содержанием в древесине части элементов, как свидетельствуют приведенные данные, наблюдается отрицательная корреляция, что свидетельствует об их антагонистических отношениях между собой. В этом плане выделяются никель, а особенно свинец, которые ингибируют потребление деревьями таких элементов, как кальций, калий, магний, марганец, медь и цинк, играющих важную роль в протекании физиологических процессов [13, 14]. Так, основная функция кальция состоит в поддержании структуры рибосом, в которых происходит синтез белка, а также в стабилизации других клеточных структур, т.к. его ионы являются своеобразными «мостиками», связывающими между собой молекулы липидов. Соединения кальция с пектиновыми веществами склеивают оболочки соседних клеток. Он, в отличие от других элементов, в растениях малоподвижен, практически не утилизируется и накапливается в стареющих органах. Калий участвует в синтезе углеводов и большинстве ферментативных процессов, происходящих в тканях растений, повышает водоудерживающую способность цитоплазмы, интенсивность фотосинтеза и отток ассимилянтов. Он накапливается в основном в молодых тканях растений, не образуя прочных органических соединений, а вступает лишь в слабые адсорбционные взаимодействия с белками и в обменные реакции с органическими кислотами. Магний играет существенную роль в обмене веществ, особенно в молодых органах растений. Он входит в состав хлорофилла, активирует ферменты, переносящие фосфат с АТФ на молекулу сахара. Марганец принимает активное участие в окислительных процессах, восстановлении нитратов в процессе фотосинтеза, входит в состав многих окислительных ферментов растений, принимает участие в тканевом дыхании. Его недостаток проявляется в возникновении мелких, сначала светлых, а потом коричневых пятен между жилками молодых листьев. Медь активирует витамины группы В, влияет на белковый и углеводный обмен, защищает от распада хлорофилл, способствует синтезу белка. При недостатке меди бледнеет листовая пластинка (хлороз) и отмирают мягкие ткани листа. Цинк играет важную роль в процессе тканевого дыхания. Он входит в состав хлоропластов и участвует в фотосинтезе.

По характеру динамики значений все элементы объединяются между собой в три кластера (рис. 5). Наиболее представительный кластер слагают зола и шесть металлов: Ca, Mg, Mn, Zn, Cu и Co. Во второй кластер входят три металла: K, Fe и Cd. Отдельный кластер составляют никель и свинец.

Важным условием нормального протекания физиологических и биохимических процессов у деревьев является сбалансированность химического состава их тканей, поскольку

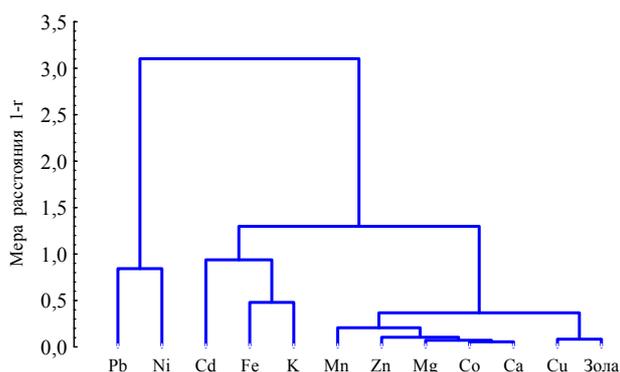


Рис. 5. Дендрограмма сходства динамики содержания элементов в древесине сосен, построенная способом Варда по матрице коэффициентов корреляции

весеине калия к кальцию, возрастающего по мере улучшения условий роста деревьев.

Результаты нашего исследования показали, что величина соотношения содержания химических элементов в древесине довольно изменчива (табл. 5).

Таблица 5

Изменчивость соотношения содержания металлов в древесине сосен

Соотношение элементов	Значения статистических показателей						
	M_x	min	max	S_x	m_x	V, %	P, %
Ca / K	3,75	1,37	5,95	1,48	0,37	39,4	9,9
Ca / Mg	2,98	2,08	4,74	0,71	0,18	24,0	6,0
K / Mg	0,92	0,42	1,77	0,40	0,10	43,7	10,9
K / Fe	7,8	2,7	13,1	2,9	0,7	37,2	9,3
K / Mn	25,4	13,4	77,2	17,2	4,3	67,8	17,0
K / Zn	61,4	36,8	132,0	30,1	7,5	49,0	12,3
K / Cu	224,1	114,3	347,1	78,0	19,5	34,8	8,7
Mg / Fe	9,34	3,65	18,00	4,06	1,01	43,4	10,9
Mg / Mn	27,0	15,2	43,7	8,1	2,0	30,2	7,5
Mg / Zn	67,9	46,9	97,2	15,3	3,8	22,5	5,6
Mg / Cu	257,4	175,5	438,5	70,9	17,7	27,5	6,9
Fe / Mn	3,32	1,76	7,39	1,62	0,41	48,8	12,2
Fe / Zn	8,20	5,15	14,04	2,98	0,74	36,3	9,1
Zn / Cu	3,82	2,41	4,79	0,65	0,16	17,0	4,2

Наиболее сильно варьирует величина пропорций K/Mn, K/Zn, Fe/Mn, K/Mg и Mg/Fe. Меньше всего изменяются соотношения Zn/Cu, Mg/Zn, Ca/Mg и Mg/Cu. Соотношения K/Mg, Mg/Zn и Fe/Mn существенно различаются по биотопам (табл. 6): значения K/Mg и Fe/Mn в Дубовой роще выше, чем в Сосновой, а Mg/Zn, наоборот, ниже. Соотношения Ca/K, K/Mg, K/Fe, K/Mn, K/Zn и K/Cu достоверно различаются по периодам времени (рис. 6), что аппроксимируют следующие нелинейные уравнения регрессии:

$$\begin{aligned}
 [Ca/K] &= 4,12 \cdot \exp(-1,875 \cdot X^{3,059}) + 1,0; R^2 = 0,862; & [K/Mn] &= 0,14 \cdot \exp(5,474 \cdot X) + 15,5; R^2 = 0,914; \\
 [K/Mg] &= 0,83 \cdot X^{3,212} + 0,65; R^2 = 0,777; & [K/Zn] &= 2,08 \cdot \exp(3,509 \cdot X) + 36,0; R^2 = 0,938; \\
 [K/Fe] &= 3,16 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot A/130 + 3,588) + 8,12; & [K/Cu] &= 194,4 \cdot [1 - \exp(2,642 \cdot X^{3,016})] + 148,0; \\
 & & & R^2 = 0,757; & & R^2 = 0,872;
 \end{aligned}$$

где [Ca/K] – отношения содержания элементов в древесине; X = A/100; A – возраст слоя древесины, лет.

Приведенные на графиках данные показывают, что содержание в древесине кальция по отношению к калию убывает по мере старения деревьев, а содержание калия по отноше-

нию к марганцу, цинку и меди, наоборот, возрастает. Связь пропорций содержания металлов в древесине с шириной годичных колец менее тесная, чем с возрастом деревьев. Этот факт позволяет сделать вывод о том, что изменение значений показателей связано не с абсолютной величиной годичного прироста деревьев, как это считает А.Ф Четвериков [5], а с их возрастом, обуславливающим изменение потребления ими элементов питания для построения тканей древесины. Подтвердить или опровергнуть данное положение можно лишь на основе исследований, проведенных в древостоях разного возраста.

Таблица 6

Факторы дисперсии соотношения содержания металлов в древесине сосен

Соотношение элементов	Фактор дисперсии и доля его влияния				Доля ошибки, %
	Условия биотопа ($F_{0,05} = 5,59$)		Период времени ($F_{0,05} = 3,79$)		
	$F_{\text{факт.}}$	Доля влияния, %	$F_{\text{факт.}}$	Доля влияния, %	
Ca / K	0,00	0,0	7,62	88,4	11,6
Ca / Mg	4,89	24,4	1,16	40,7	34,9
K / Mg	7,53	8,2	11,07	84,2	7,6
K / Fe	0,00	0,0	9,00	90,0	10,0
K / Mn	3,93	6,9	6,56	80,8	12,3
K / Zn	0,00	0,0	69,47	98,6	1,4
K / Cu	0,95	1,1	10,75	90,5	8,4
Mg / Fe	1,75	8,7	1,62	56,5	34,8
Mg / Mn	0,10	1,0	0,52	34,1	64,9
Mg / Zn	5,66	28,5	1,03	36,3	35,2
Mg / Cu	2,68	13,7	1,42	50,6	35,7
Fe / Mn	10,51	15,4	7,28	74,4	10,2
Fe / Zn	0,71	2,0	4,05	78,6	19,4
Zn / Cu	2,34	3,0	9,64	87,9	9,1

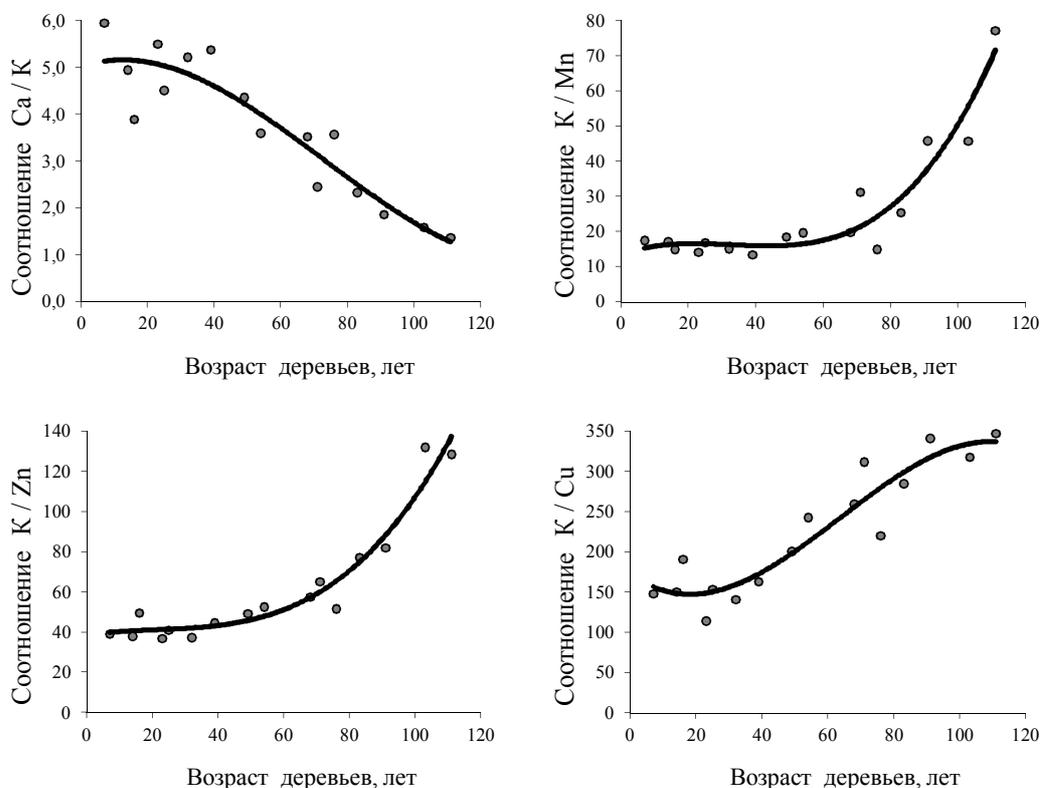


Рис. 6. Динамика значений соотношения содержания разных металлов в древесине сосен

Выводы.

1. Более всего содержится в древесине кальция, являющегося основой оболочки клеток. За ним следуют магний и калий, участвующие в процессе метаболизма. На порядок меньше содержится в образцах железа, марганца, цинка и меди. Замыкают ранговый ряд металлов Ni, Cd, Pb и Co.

2. Содержание металлов в образцах варьирует в довольно больших пределах. Особенно высока изменчивость содержания в древесине никеля. Меньше всего изменяется содержание золы, Zn, Ca, Cu, Cd и Fe. Связь между содержанием металлов в образцах и коэффициентом его вариации практически отсутствует.

3. Содержание металлов в древесине сосен зависит как от особенностей биотопов, так и периода времени образования годичных слоев. Существенно различаются между собой годичные слои древесины разных лет по содержанию в них золы, Ca, Mg, K, Cu, Ni, Cd и Co. Минимум зольности древесины и содержания калия приходится на возраст 25-30 лет; по мере увеличения возраста деревьев показатели неуклонно возрастают. Содержание в древесине кальция по отношению к калию убывает по мере старения деревьев, а содержание калия по отношению к марганцу, цинку и меди, наоборот, возрастает. Содержание в древесине Cd, Cu, Zn и Fe изменяется волнообразно. Кардинально отличается от всех металлов динамика содержания никеля, у которого отмечается значительное содержание в 1890-1909 гг., сопоставимого по значениям с деревьями, произрастающими вблизи металлургических производств. Причина этого феномена не ясна.

4. Связь содержания металлов в древесине и величины его пропорций между ними с шириной годичных колец менее тесная, чем с возрастом деревьев, который обуславливает изменение потребления ими элементов питания.

Список литературы

1. Демаков, Ю.П. Диагностика устойчивости лесных экосистем (методологические и методические аспекты) / Ю.П. Демаков. – Йошкар-Ола: Периодика Марий Эл, 2000. – 415 с.
2. Демаков, Ю.П. Возможности дендрохронологии в индикации и прогнозе течения природных и антропогенно обусловленных процессов / Ю.П. Демаков // Математические и физические методы в экологии и мониторинге природной среды: Тр. Междунар. конф. – М.: МГУЛ, 2001. – С. 257-263.
3. Адаменко, В.Н. Химический состав годичных колец деревьев и состояние природной среды / В.Н. Адаменко, Е.Л. Журавлева, А.Ф. Четвериков // Докл. АН СССР. – 1982. – Т. 265, № 2. – С. 507-512.
4. Казимиров, Н.И. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера / Н.И. Казимиров, А.Д. Волков, С.С. Зябченко и др.. – Л.: Наука, 1977. – 304 с.
5. Четвериков, А.Ф. Химический состав годичных слоев прироста деревьев и условия природной среды / А.Ф. Четвериков // Дендрохронология и дендроклиматология. – Новосибирск: Наука, 1986. – С. 126-130.
6. 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.
7. Лукина, Н.В. Химический состав хвои сосны на Кольском полуострове / Н.В. Лукина, В.В. Никонов, Х. Райтио // Лесоведение. – 1994. – № 6. – С. 10-21.
8. Ярмишко, В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере / В.Т. Ярмишко. – СПб.: НИИ Химии СПбГУ, 1997. – 210 с.
9. 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.
10. Методика выполнения измерений валового содержания меди, кадмия, цинка, свинца, никеля, марганца, кобальта, хрома методом атомно-абсорбционной спектроскопии. – М.: ФГУ ФЦАО, 2007. – 20 с.
11. Методы определения микроэлементов в почвах, растениях и водах / Под ред. И.Г. Важенина. – М.: Колос, 1974. – 283 с.
12. Аффифи, А. Статистический анализ. Подход с использованием ЭВМ / А. Аффифи, С. Эйзен. – М.: Мир, 1982. – 488 с.
13. Крамер, П.Д. Физиология древесных растений / П.Д. Крамер, Т.Т. Козловский. – М.: Лесная промышленность, 1983. – 464 с.

14. Веретенников, А.В. Физиология растений с основами биохимии / А.В. Веретенников. – Воронеж: ВГУ, 1987. – 256 с.

15. Лархер, В. Экология растений / В. Лархер. – М.: Мир, 1978. – 384 с.

Статья поступила в редакцию 11.11.11.

Исследования выполнены на научном оборудовании лабораторий ЦКП «Экология, биотехнологии и процессы получения экологически чистых энергоносителей» МарГТУ.

Yu. P. Demakov, S. M. Shvetsov, V. I. Talantsev, K. K. Kalinin

**DYNAMICS OF ASH CONSTITUENTS CONTENT IN ANNUAL RINGS
OF OLD-GROWTH PINES GROWING AT THE FLOODPLAIN BIOTOPES**

The data describing ash content of annual rings of old-growth Scotch pine trees and dynamics of content in it of 11 different metals for a period from 1850 to 2009 are presented. It was revealed that the content of a number of elements in the wood and the ratio of various elements naturally changes with the age of the trees.

Key words: Scots pine, wood, ash constituents, variability factors.

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

E-mail: Demakovyp@marstu.net

ШВЕЦОВ Сергей Михайлович – ст. лаборант кафедры химии, аспирант МарГТУ. Область научных интересов – экология, биогеохимия. Автор пяти публикаций.

E-mail: Shvecovsm@marstu.net

ТАЛАНЦЕВ Владимир Иванович – инженер кафедры химии, аспирант МарГТУ. Область научных интересов: биогеохимия, физическая химия. Автор пяти публикаций.

E-mail: Talancevvi@marstu.net

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

E-mail: KalininKK@marstu.net

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

УДК 630*232.211

С. В. Фокин

К ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПОРУБОЧНЫХ ОСТАТКОВ

Приводятся теоретическое обоснование основных конструктивно-технологических параметров устройства для измельчения порубочных остатков и результаты лабораторных исследований его работы.

Ключевые слова: порубочные остатки, устройство для измельчения порубочных остатков, нераскорчеванные вырубki, щепa.

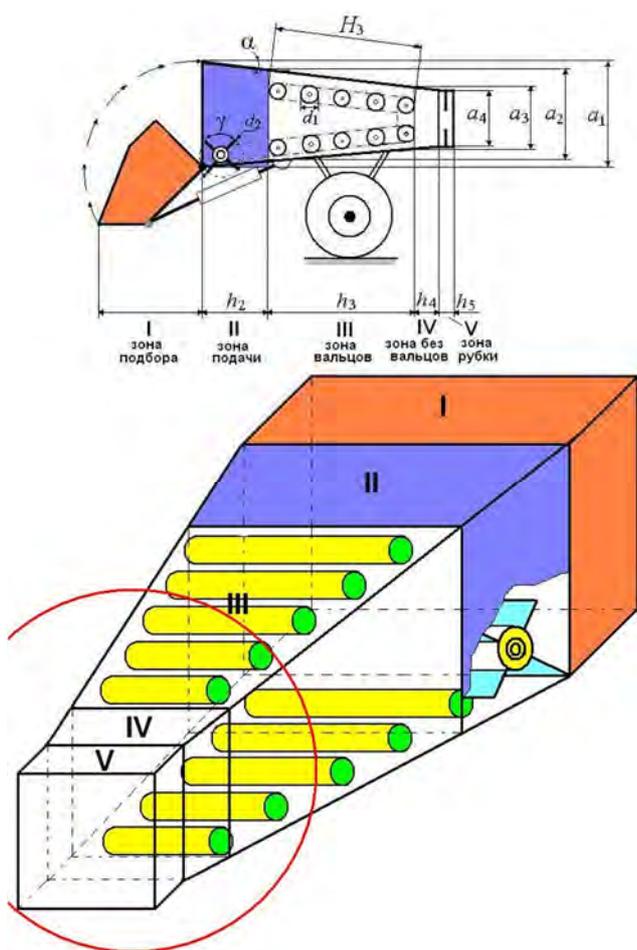
Введение. В Концепции развития лесного хозяйства Российской Федерации на 2003–2010 годы [1] и Лесном кодексе Российской Федерации ставится задача качественного воспроизводства лесов. В России естественным путем восстанавливается около 1/3 ежегодно вырубаемых лесов, остальные требуют специальных мер по их возобновлению. На 50 % площади достаточно только содействия естественному возобновлению, а на остальной нужны посев и посадка деревьев. Причем данные работы должны проводиться с учетом требований экологии и пожарной безопасности выполняемых работ, которые отмечены в приказах Федерального агентства лесного хозяйства РФ № 377 от 17 мая 2011 г. и № 376 от 17 мая 2011 г. В настоящее время при проведении лесосечных работ порубочные остатки после сбора в валы или кучи остаются на вырубке в качестве органического удобрения и в первые годы после рубок представляют собой пожароопасный горючий материал [2], часто мешающий выполнению отдельных технологических операций производства лесовосстановительных работ [3], поэтому ставится **задача** совершенствования технологии расчистки нераскорчеванных вырубok в степной и лесостепной климатических зонах Поволжья, путем переработки горючих материалов на щепу, тем самым снижая вероятность возникновения пожара на вырубках.

Целью работы является разработка технологической операции и средств механизации для измельчения порубочных остатков.

Математическую модель рассматриваемого устройства для измельчения порубочных остатков [4] можно разбить на пять звеньев-зон в зависимости от технологического назначения (рис. 1).

Зона I представляет собой подборщик порубочных остатков с последующей подачей его к измельчающему диску **зона V**. Транспортировка порубочных остатков в **зону V** осуществляется с помощью цепочки, состоящей из **зоны подачи II** с подающим звеном и **зоны III**, снабженной двумя рядами подающих вальцов с зубцами. Зоне рубки предшествует **зона IV** без вальцов, где осуществляется дополнительное уплотнение порубочных остатков.

Ведущим звеном устройства для измельчения порубочных остатков является измельчающее устройство, параметры которого определяют режим функционирования устройств транспортировки сырья в рубильную машину. К таким параметрам относятся: угловая скорость диска с ножами – ω_3 ; число ножей – S ; радиус барабана с ножами – R_5 ; толщина срезаемого слоя древесины – h_5 ; размеры окна, в которое сырье поступает в рубильную машину – a_4 .



Обозначение	Наименование	Величина
h_5	Толщина срезаемого слоя в рубильной машине	0,005...0,03 м
a_4	Размер окна, в которое сырье поступает в рубильную машину	0,2...0,7 м
R_5	Радиус барабана с ножами	0,48...0,76 м
S	Число ножей в рубильной машине	2...7
ω_3	Угловая скорость барабана с ножами рубильной машины	42,4...104,6 1/с
α	Угол конусности цепочки подачи сырья	0...30°
a_3	Размер границы зоны IV: $a_3 = a_4 + 2h_4 \operatorname{tg}\alpha$	м
a_2	Размер границы зоны III: $a_2 = a_3 + 2h_3 \operatorname{tg}\alpha$	м
a_1	Размер границы зоны II: $a_1 = a_2 + 2h_2 \operatorname{tg}\alpha$	м
d_2	Диаметр подающего звена	0,4...0,7 м
h_2	Длина зоны II: $h_2 = d_2 + 30 \text{ см}$	м
h_3	Длина зоны III: $h_3 = 3h_2$	м
h_4	Длина зоны IV: $h_4 = 0,5h_2$	м
d_1	Диаметр вальцов в зоне III	0,08...0,15 м
P_1	Зазор между вальцами в зоне III	$\leq 0,15$ м
ρ_D	Плотность пород древесины	450...770 кг/м ³

Рис. 1. Схема построения математической модели устройства для измельчения порубочных остатков и его параметры

От этих параметров (рис. 1), а также от геометрических параметров цепочки подачи сырья в рубильную машину зависят угловая скорость звена подачи в зоне II: ω_2 и угловая скорость вальцов в зоне III: ω_3 .

Таким образом, ставится задача определить зависимости угловых скоростей ω_2 и ω_3 не только как функции параметров рубильной машины (параметры 1...5), но и как функции варьируемых параметров цепочки подачи порубочных остатков (параметры 6...16). При решении данной задачи можно выделить следующие этапы расчета.

Этап I – вычисление числа вальцов в зоне III и их объема

Вычисление длины зоны h_2 и зоны h_3 :

$$h_2 = d_2 + 30 \text{ см}; \quad h_3 = 3h_2. \quad (1)$$

Вычисление длины поверхностей зоны III, на которых расположены вальцы:

$$H_3 = \frac{h_3}{\cos \alpha}, \quad (2)$$

где H_3 – длина поверхности с вальцами; α – угол конусности цепочки подачи.

Вычисление числа вальцов N_2 :

$$N_2 = \frac{H_3 - P_1}{(d_1 + P_1)}, \quad (3)$$

где d_1 – диаметр вальцов в зоне III; P_1 – зазор между вальцами (d_1 и P_1 нужно изменять так, чтобы число N_2 было целым).

Вычисление средней длины вальца L_{cp} :

$$L_{cp} = \frac{a_2 + a_3}{2}, \quad (4)$$

где a_2, a_3 – размеры границ зоны III.

Вычисление объема, занимаемого вальцами для двух рядов:

$$V_6 = \pi \frac{d_1^2}{2} N_2 L_{cp}. \quad (5)$$

Этап II – вычисление объемов зон в цепочке подачи, в зоне рубки и в зоне подбора порубочных остатков (объем ковша подборки)

Вычисление объема в зоне подачи порубочных остатков (II) V_2 :

$$V = \frac{1}{3} h_2 (a_1^2 + a_2^2 + a_1 a_2), \quad (6)$$

где h_2 – длина зоны II; $a_1 a_2$ – размеры границ зоны II (объем усеченной пирамиды V вычисляется как: $V = \frac{1}{3} h (S_1^2 + S_2^2 + \sqrt{S_1^2 S_2^2})$, где S_1, S_2 – площадь оснований, h – высота пирамиды).

Вычисление объема зоны с вальцами (III):

$$V_3 = \frac{1}{3} h_3 (a_2^2 + a_3^2 + a_1 a_2) - \pi \frac{d_1^2}{2} N_2 L_{cp}, \quad (7)$$

где h_3 – длина зоны III; a_2, a_3 – размер границ зоны III.

Вычисление объема зоны без вальцов (IV):

$$V_4 = \frac{1}{3} h_4 (a_3 + a_4 + a_3 a_4), \quad (8)$$

где h_4 – длина зоны IV; a_3, a_4 – размеры границ зоны IV.

Вычисление объема зоны рубки порубочных остатков (V):

$$V_5 = h_5 a_4^2, \quad (9)$$

где: h_5 – толщина срезаемого слоя в рубительной машине; a_4 – величина границы в зоне рубки.

Вычисление объема подбора порубочных остатков (зона I):

$$V_{II} < k_n V_2, \quad (10)$$

где: $k_{II} < 1$ – коэффициент заполнения ковша (объем зоны II должен быть больше, чем объем ковша; $k_{II} \approx 0,8...0,95$).

Этап III – вычисление плотности порубочных остатков и их уплотнения в зонах цепочки механизма подачи

Вычисление плотности порубочных остатков в зоне (I) подбора:

$$\rho_{II} = \rho_D \cdot k_c, \quad (11)$$

где ρ_{II} – плотность порубочных остатков в зоне подбора; ρ_D – плотность пород древесины порубочных остатков; k_c – коэффициент плотности порубочных остатков; $k_c \approx 0,5...0,75$.

Вычисление плотности подаваемых порубочных остатков в зоне подачи (зона II).

При условии близкого к равенству объемов зоны подбора (ковша) и зоны подачи (II) полагаем:

$$\rho_2 = \rho_{II}, \quad (12)$$

где ρ_2 – плотность подаваемых порубочных остатков в зоне (III) с вальцами.

Полагаем, что в среднем плотность подаваемых порубочных остатков в зоне III пропорциональна отношению объема зоны II – V_2 к объему зоны III – V_3 ($V_2 > V_3$), а именно:

$$\rho_3 = \rho_2 \frac{V_2}{V_3}, \quad (13)$$

где ρ_3 – плотность подаваемых порубочных остатков в зоне III.

Плотность подаваемых порубочных остатков в зоне без вальцов (зона IV): так как в зоне IV отсутствуют движители подаваемых порубочных остатков, полагаем, что:

$$\rho_4 = \rho_3, \quad (14)$$

где ρ_4 – плотность подаваемых порубочных остатков в зоне (IV) без вальцов.

Плотность порубочных остатков в зоне рубки, ограниченной площадью окна подачи в рубительной машине ρ_5 , мало отличается от ρ_4 , поэтому

$$\rho_5 = \rho_4. \quad (15)$$

Этап IV – вычисление количества движения $Q_i = m_i U_i$, порубочных остатков в зонах цепочки подачи и в зоне рубки

В качестве механической меры расхода с течением времени сырья в каждой из зон МПТ может служить количество движения порубочных остатков в каждой из зон, т.е. произведение массы порубочных остатков в зоне на ее среднюю скорость.

Масса порубочных остатков в зоне $m_i = V_i \rho_i$.

Вычисление количества движения порубочных остатков в зоне подачи (зона II):

$$Q_2 = \frac{\pi d_2^2}{4} \cdot \frac{a_1 + a_2}{2} \rho_2 \frac{d_2}{2} k_2 \omega_2, \quad (16)$$

где d_2 – диаметр подающего звена; a_1, a_2 – размеры границ зоны II; ρ_2 – плотность порубочных остатков в зоне II; k_2 – коэффициент потерь в зоне II ($k_2 \approx 0,85...0,9$); ω_2 – угловая скорость подающего звена.

Вычисление количества движения порубочных остатков в зоне (III) с вальцами:

$$Q_3 = \rho_3 V_3 \frac{d_1}{2} k_3 \omega_3, \quad (17)$$

где ρ_3 – плотность порубочных остатков в зоне III; V_3 – объем зоны III; d_1 – диаметр вальцов; k_3 – коэффициент потерь в зоне III ($k_3 \approx 0,85..0,9$); ω_3 – угловая скорость вальцов.

Вычисление количества движения порубочных остатков в зоне без вальцов (IV).

В зоне IV отсутствует свой движитель массы порубочных остатков

$$Q_4 = \rho_4 V_4 U_4 k_4, \quad (18)$$

где $U_4 = \omega_3 \frac{d_1}{2}$ – средняя скорость движения порубочных остатков в зоне IV; ρ_4 – плотность порубочных остатков в зоне IV; V_4 – объем зоны IV; k_4 – коэффициент потерь массы порубочных остатков в зоне IV ($k_4 \approx 0,9..1,0$).

Тогда:

$$Q_4 = \rho_4 V_4 \frac{d_1}{2} k_4 \omega_3. \quad (19)$$

Обозначим $Q^* = Q_3 + Q_4$ суммарное количество движения исходного материала в зонах III и IV.

$$Q^* = (\rho_3 V_3 k_3 + \rho_4 V_4 k_4) \frac{d_1}{2} \omega_3. \quad (20)$$

Вычисление количества движения порубочных остатков в зоне рубки (зона IV):

$$Q_5 = \rho_5 h_5 a_4^2 S R_5^{cp} k_5 \omega_5, \quad (21)$$

где ρ_5 – плотность порубочных остатков в зоне V; h_5 – толщина срезаемого слоя; a_4 – размер подающего окна в зоне V; S – число ножей; $R_5^{cp} = (R_5 - \frac{a_4}{2})$ – средний радиус ножей; k_5 – коэффициент потерь массы порубочных остатков в зоне V ($k_5 \approx 0,9..1,0$); ω_5 – угловая скорость диска с ножами.

Этап V – вычисление угловой скорости ω_3 вальцов и угловой скорости ω_2 подающего звена

Из условия непрерывности процесса получения щепы в рубительной машине следует:

$$Q^* = Q_5 \text{ и } Q_2 = Q^* \quad (22)$$

Тогда из соотношений (15–20) имеем:

$$\omega_3 = \frac{2(\rho_5 h_5 a_4^2 R_5^{cp} k_5 S)}{(\rho_3 V_3 k_3 + \rho_4 V_4 k_4) d_1} \omega_5, \quad (23)$$

где $R_5^{cp} = R_5 - \frac{a_4}{2}$.

$$\omega_2 = \frac{(\rho_3 V_3 k_3 + \rho_4 V_4 k_4) \frac{d_1}{2}}{\frac{\pi d_2^2}{2} \cdot \frac{a_1 + a_2}{2} \rho_2 \frac{d_2}{2} k_2} \omega_3. \quad (24)$$

Научной новизной данной разработки является получение математических моделей, позволяющих производить расчет основных конструктивно-технологических параметров устройства для измельчения порубочных остатков. Данные модели реализованы в компьютерной программе [5].

Обоснование основных конструктивно-технологических параметров выполнено с использованием методики планирования эксперимента, реализованной в программе «Statgraf». За поверхность отклика принималась масса измельченного сырья, подаваемая в загрузочный патрон за один рабочий ход подъемного устройства.

За переменные факторы принимались следующие показатели: угол конусности загрузочного патрона, диаметр подающих вальцов, диаметр подающего звена, размер окна в зоне рубки, расстояние (зазор) между вальцами.

Анализ полученных результатов теоретических исследований показал, что при максимальной производительности рубительной машины, равной 100 кг/мин, исследуемые конструктивно-технологические параметры имеют следующие значения:

d_1 (диаметр вальцов с шипами, м) = 0,1...0,18;

d_2 (диаметр подающего звена, м) = 0,5...0,8;

a_4 (размер окна в зоне рубки, м) = 0,6...0,7;

P_1 (зазор между вальцами, м) = 0,06...0,18;

alf (угол конусности измельчителя, град.) = 15...40.

Для получения окончательных конструктивно-технологических параметров устройства для измельчения порубочных остатков при помощи компьютерной программы целесообразно взять среднее значение рассчитанных величин.

Проверка полученных результатов проводилась в процессе лабораторных исследований технологических параметров устройства для измельчения порубочных остатков, влияющих на ее производительность. Изучение технологических параметров осуществлялось при помощи лабораторной тензометрической станции ZET 017-T8, которая была смонтирована на базе макетного образца устройства для измельчения порубочных остатков. Подключение тензостанции к ПЭВМ осуществляется по шине USB 2.0. Питание лабораторной установки производится от внешней аккумуляторной батареи напряжением 12 В (рис. 2).



Рис. 2. Общий вид лабораторной установки для изучения технологических параметров устройства для измельчения порубочных остатков

Теоретическими исследованиями установлено, что угловая скорость вращения узлов (устройства пальчикового типа, подающих вальцов), входящих в состав механизма привода, оказывает наибольшее влияние на производительность машины для измельчения порубочных остатков, поэтому методикой эксперимента предусматривалось изучение закономерности влияния скорости вращения узлов механизма подачи на производительность и фракционный состав получаемой щепы. Измерение частоты вращения производится при помощи бесконтактного оптического датчика оборотов ВС 401, производимого ЗАО «Электронные технологии и метрологические системы» (рис. 3). Обработка результатов исследований производилась на персональном компьютере при помощи программного обеспечения «Тахометр», входящего в состав тензометрической станции ZET 017-T8, и Statistica 6,0 [6].

Теоретические исследования показали, что они находятся в следующих пределах: угловая скорость в зоне подачи, 1/мин- ω_2 (110...200); угловая скорость в зоне вальцов, 1/мин- ω_3 (40...160). При проведении лабораторных испытаний изменение технологических

параметров устройства для измельчения порубочных остатков проводилось в соответствии с конструктивными возможностями клиноременного вариатора с диапазоном регулирования скоростей 4 и технологических условий измельчения порубочных остатков.



Рис. 3. Вид закрепленного бесконтактного оптического датчика для измерения числа оборотов

Исходя из этого, принимались следующие диапазоны скоростей: угловая скорость в зоне подачи, 1/мин- ω_2 (50...125); угловая скорость в зоне вальцов, 1/мин- ω_3 (20...100).

В целях определения влияния технологических параметров устройства для измельчения порубочных остатков на его производительность проводились лабораторные исследования по методике многофакторного планирования эксперимента. Для этого реализовывался полный факторный эксперимент 2^3 , который проводился в соответствии со сводкой и планом многофакторного эксперимента [7].

В результате реализации плана многофакторного эксперимента изучения влияния технологических параметров на массу измельченных порубочных остатков получена следующая зависимость:

$$M = 0,083 + 0,639 \text{ LOG } W_2 + 0,292 \text{ LOG } W_3, \quad (25)$$

$(30,0 < W_2, 1/\text{мин} < 160,0; 30,0 < W_3, 1/\text{мин} < 130,0)$

Оценка коэффициентов уравнений показала, что коэффициенты факторов, влияющих на производительность устройства для измельчения порубочных остатков, тесно связаны между собой (коэффициент корреляции $R > 0,94$). Данными уравнениями описывается свыше 89 % значений (коэффициент детерминации $R^2 > 0,89$). Анализ коэффициентов уравнения по t-критерию показывает значимость на 5 % факторов угловой скорости в зоне подачи (ω_2) и угловой скорости в зоне вальцов (ω_3).

Проанализировав зависимость факторов, влияющих на производительность устройства для измельчения порубочных остатков, можно сделать вывод, что с увеличением угловой скорости в зоне подачи с 50 до 87,5 1/мин и уменьшением угловой скорости в зоне вальцов с 20 до 3,5 1/мин соотношение данных скоростей изменяется с 25,0 (87,5/3,5) до 2,5 (50/20) (1,87 раза), что приводит к увеличению массы произведенной щепы с 25,1 до 32,4 кг (1,3 раза).

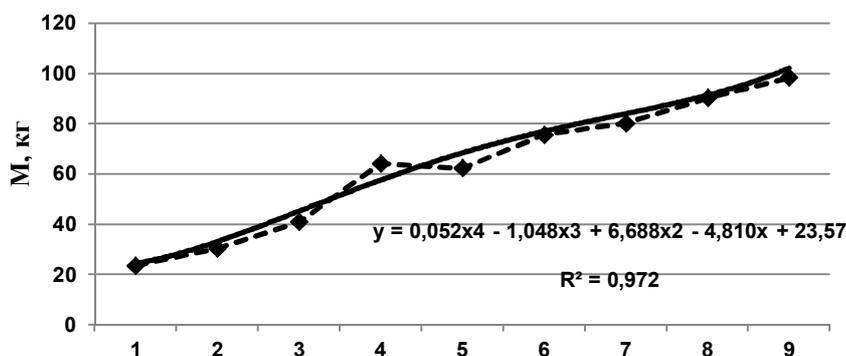
При уменьшении угловой скорости в зоне подачи до 34,6 1/мин и увеличении угловой скорости в зоне вальцов до 116,6 1/мин соотношение данных скоростей изменяется с 0,75 (87,5/116,6) до 0,5 (50/100). При этом масса полученной щепы возрастает с 40,2 до 68,2 кг (1,69 раза).

При соотношениях угловых скоростей в зоне подачи и в зоне вальцов, находящихся в пределах, определенных в результате теоретических исследований (125/100 и 140,5/60), масса произведенной щепы имеет максимальное значение 101,5 кг. При этом соотношение скоростей изменилось с 1,25 до 2,4 (1,9 раза).

Из рис. 4 видно, что экспериментальная кривая (пунктир) практически не отличается от теоретической, так как проходит в границах 5 % доверительного интервала теоретической линии [8]. Этот факт свидетельствует о хорошей сходимости результатов, полученных в результате теоретических и экспериментальных исследований факторов, влияющих на производительность устройства для измельчения порубочных остатков.

Характерными чертами представляемой конструкции устройства для измельчения порубочных остатков является простота использования, технического обслуживания и ремон-

та, так как она состоит из незначительного количества унифицированных узлов и деталей. Подготовку устройства к работе (присоединение устройства к тяговому агрегату) и измельчение порубочных остатков осуществляют два человека, что значительно снижает трудозатраты производства работ. Безопасность производства работ обеспечена технологической схемой устройства путем применения механизма подъема порубочных остатков в загрузочный патрон.



№ точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9
соотношение W2/W3, 1/мин.	87,5/3,5	50/20	34,5/60	87,5/116,5	50/100	87,5/60	125/20	140,5/60	125/100

Рис.4. Сравнение результатов исследования зависимости массы измельченных порубочных остатков M (кг) от угловой скорости подающего устройства в зоне подачи (W_2 , 1/мин) и от угловой скорости вальцов (W_3 , 1/мин)

Выводы. На территории степной и лесостепной климатических зон отсутствует промышленная заготовка древесины. В этих областях основным видом рубок являются санитарные рубки и рубки ухода. Для этих видов рубок характерны: малая площадь производства работ, труднодоступность и рассредоточенность по территории хозяйства, поэтому применение лесохозяйственной техники для измельчения порубочных остатков, выпускаемых серийно отечественными и зарубежными производителями, нецелесообразно, особенно в условиях экономического кризиса. Так как приобретение зарубежных аналогов не выгодно с точки зрения стоимости (более 30 тыс. евро для зарубежных аналогов и более 400 тыс. руб. для отечественных) и при одинаковых диапазонах производительности (4...25 м³/час), при одинаковых условиях обеспечения экологичности и техники безопасности.

Рассматривая ближайшие конструктивные аналоги ИДО-150 (Россия), можно отметить, что серийный вариант машины на рассматриваемой территории вследствие особенности ведения лесовосстановительных работ малопригоден, так как шасси рубительной машины имеет малый дорожный просвет, что не позволяет двигаться по нераскорчеванным вырубкам, а размеры загрузочного патрона недостаточны для загрузки порубочных остатков.

Предлагаемая конструкция устройства для измельчения порубочных остатков наполнителем позволяет избежать данных недостатков. Для повышения его проходимости предусмотрено шасси, имеющее большой дорожный просвет и оснащенное пневматическими колесами большого диаметра (0,7 м). Ввиду специфичности перерабатываемого материала размер загрузочного патрона устройства адаптирован к размерам порубочных остатков и составляет 600×1200×1800 мм.

Полученные результаты исследований позволяют сделать вывод о том, что разработанная конструкция устройства для измельчения порубочных остатков работоспособна и необходимо проводить мероприятия по его внедрению в производство.

Список литературы

1. Концепция развития лесного хозяйства Российской Федерации на 2003–2010 годы. Одобрена распоряжением Правительства Российской Федерации от 18 января 2003 г. № 69-р. – 22 с.
2. Залесов, С.В. Лесная пироология: учеб. пособие / С.В. Залесов. – Екатеринбург: Изд-во Уральской лесотехнической академии, 1998. – 296 с.
3. Производство культуртехнических работ : учеб. пособие / Н. А. Будников [и др.] ; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2002. – 52 с.
4. Устройство для измельчения порубочных остатков: Пат. 2354545 Рос. Федерация : А 01 G 23/06 / Цыплаков В. В., Шпортко О. Н., Фокин С.В. ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – № 2007147160 ; заявл. 18.12.2007 ; опубл. 10.05.2009, Бюл. № 13.
5. Расчет конструктивно-технологических параметров устройства для измельчения порубочных остатков: программа для ЭВМ / Цыплаков В. В., Фокин С. В. ; правообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Заявка № 2009613441. – Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2009614670; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 01.09.2009.
6. Боровиков, В. П. Программа СТАТИСТИКА для студентов и инженеров / В. П. Боровиков. – М. : Компьютер пресс, 2001. – 301 с.
7. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке / Н. Джонсон, Ф. Лион. – М. : Мир, 1980. – 610 с.
8. Демиденко, Е. З. Оптимизация и регрессия / Е. З. Демиденко. – М. : Наука, 1989. – 292 с.

Статья поступила в редакцию 11.11.11.

S. V. Fokin

**TO THE PROBLEM OF SUBSTANTIATION OF PARAMETERS AND MODES OF WORK
OF THE DEVICE FOR FOREST RESIDUES CHOPPING**

A theoretical substantiation of the basic structurally-technological parameters of the device for forest residues chopping and results of laboratory researches of its work are presented.

Key words: *felling residues, a device for forest residues chopping, non-grubbed out clearings, chips.*

ФОКИН Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры механизации лесного хозяйства и лесомелиорации Саратовского государственного аграрного университета им. Н. И. Вавилова. Область научных интересов: разработка средств механизации в лесном хозяйстве. Автор 106 научных и учебно-методических работ.
E-mail: feht@mail.ru

УДК 630*32

Е. М. Онучин, В. А. Грязин

АДАПТИВНО-МОДУЛЬНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА

Представлен подход к созданию системы машины для комплексной механизации и частичной автоматизации технологических процессов лесосечных и лесохозяйственных работ на базе адаптивно-модульных технических средств.

Ключевые слова: *лесные машины, адаптивность, модульность, лесосечные и лесохозяйственные работы.*

Введение. Единство инновационной системы эффективного устойчивого лесопользования и лесовосстановления определяется, с одной стороны, едиными критериями эффективности, а с другой – единым комплексом базовых адаптивно-модульных технических средств, позволяющих эффективно выполнять весь комплекс технологических воздействий, необходимых для устойчивого управления лесными территориями. Важнейшей составляющей в данном комплексе технологических воздействий являются работы, направленные на достижение лесоводственных и лесозащитных целей, а также целей искусственного лесовосстановления и лесопользования, главным видом которого является заготовка древесины. При этом весь объем выполняемых работ должен быть ориентирован на снижение объема ручного труда за счет комплексной механизации и автоматизации.

Наиболее эффективно комплексная механизация и автоматизация работ по заготовке древесины реализуется посредством конструктивного синтеза адаптивно-модульных машинно-технологических комплексов, наилучшим образом соответствующих природно-производственным условиям выполнения работ. Однако при этом возможен и необходим синтез лесоводственно-лесозащитных мероприятий, учитывающих технические ограничения и максимально использующих возможности технических средств для их реализации. Такой взаимодополняющий подход возможен только при рассмотрении технологических воздействий на лесную экосистему и технических средств для их выполнения в рамках одной подсистемы инновационной системы эффективного устойчивого лесопользования.

Цель работы – формирование подходов к созданию базы технико-технологических решений адаптивно-модульных машинно-технологических комплексов, ориентированных на снижение объема ручного труда за счет комплексной механизации и автоматизации заготовки древесины.

Задача исследования – разработка и анализ оригинальных технико-технологических решений, обеспечивающих реализацию принципа адаптивно-модульного конструирования машинно-технологических комплексов.

Предполагаемые подходы к решению задачи. Использование адаптивно-модульных технико-технологических средств в процессах лесопользования, а главным образом при лесосечных работах, позволит получить положительные эффекты как за счёт повышения коэффициентов загрузки машин и их технического использования, так и за счёт работы машин в режимах, максимально приближенных к оптимальным, несмотря на изменяющиеся случайным образом условия выполнения работ и параметры предмета труда.

Рассмотрим особенности использования принципов модульности и адаптивности на

примере лесных машин. Лесные машины в подавляющем большинстве относятся к классу мобильных машин, что определяет обязательное наличие в них шасси, а механизация выполнения технологических операций требует обязательного наличия приводов, при этом как адаптивно-модульная структура рабочих органов, так и непрерывно изменяющиеся условия выполнения технологического процесса выдвигают требования к адаптивности и модульности шасси и приводов лесных машин.

Аналогично технологическому оборудованию шасси и приводы лесных машин также должны менять свою структуру и параметры как с целью максимально эффективного выполнения непосредственно технологического процесса, так и с целью максимально эффективного использования заложенных в них конструктивных ресурсов.

Относительно просто принцип адаптивности может быть конструктивно оформлен применительно к энергетическим установкам лесных машин. Так как энергопотребление технологического процесса и даже технологической операции носит характер случайного процесса с весьма и весьма значительной дисперсией, работа энергетической установки лесных машин в номинальном или достаточно близком к нему режиме может быть реализована за счёт использования различных по принципу действия и конструктивному исполнению энергоаккумуляторов, но при этом также обязательно нужно учитывать, что энергоаккумулятор – это усложнение конструкции, это дополнительные конструктивные ресурсы, вложенные в машину и их использование должно быть достаточно обосновано.

В целом, несмотря на определённое усложнение конструкции, принцип адаптивности и эксплуатационной модульности является наиболее перспективным направлением развития лесных машин, так как именно он позволяет выйти на качественно новый уровень использования заложенных в конструкциях машин ресурсов, а также максимально эффективно реализовать достижения в области технической кибернетики и робототехники.

Морфологический анализ набора прицепных технологических модулей, а также технологических машин на базе специального самоходного шасси, необходимых для полной механизации работ при рубках ухода и лесовосстановлении, позволяет выделить в них следующие функционально-структурные элементы: колесная тележка (мосты различного функционального назначения), рама, энергораспределительная система, манипулятор, рабочие органы, устанавливаемые на манипуляторе, рабочие органы, устанавливаемые на раме.

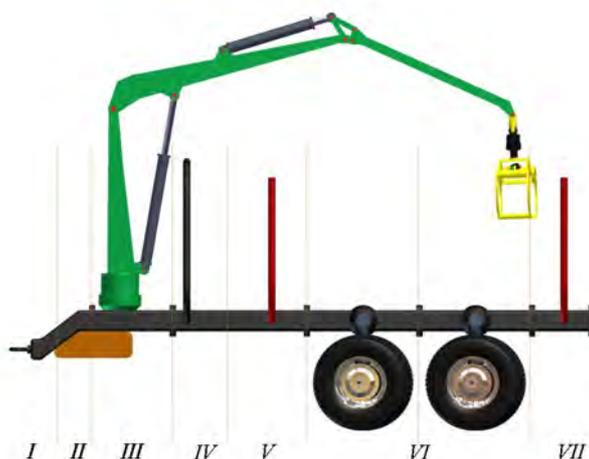


Рис. 1. Горизонтальная структура прицепа лесной машины с технологическими модулями для сбора трелёвки сортиментов: I-VII – функциональные зоны

Это позволяет определить главную задачу конструирования модульных машин для рубок ухода и лесовосстановления как на базе колесных сельскохозяйственных тракторов и агрегируемых с ними прицепных технологических модулей, так и на базе специального самоходного шасси как обеспечение качественного выполнения всех видов работ при минимальном наборе функционально-структурных элементов. Анализ компоновочных схем прицепных технологических модулей и технологических машин на базе специального самоходного шасси показывает, что размещение функционально-структурных элементов на раме прицепа происходит, как правило, последовательно, что позволяет, рассматривая горизонтальную структуру технологических модулей (рис. 1), выделить ряд функциональных зон, представляющих собой участок рамы прицепа с установленными на нём агрегатами.

Некоторые функциональные зоны являются универсальными (секция с дышлом, секция с энергораспределительной системой, секция с манипулятором, секция с ходовой тележкой), а участки рамы с рабочими органами – специализированными. Таким образом, если конструктивно, в виде секций, выделить отдельные участки рамы (рис. 2), то появляется возможность более полной загрузки универсальных функциональных блоков при их использовании в сочетании с различными специализированными функциональными блоками, что существенно снижает металлоёмкость и стоимость технологического комплекса, а также позволяет более гибко варьировать технологию работы и применяемое технологическое оборудование в зависимости от природно-производственных условий.

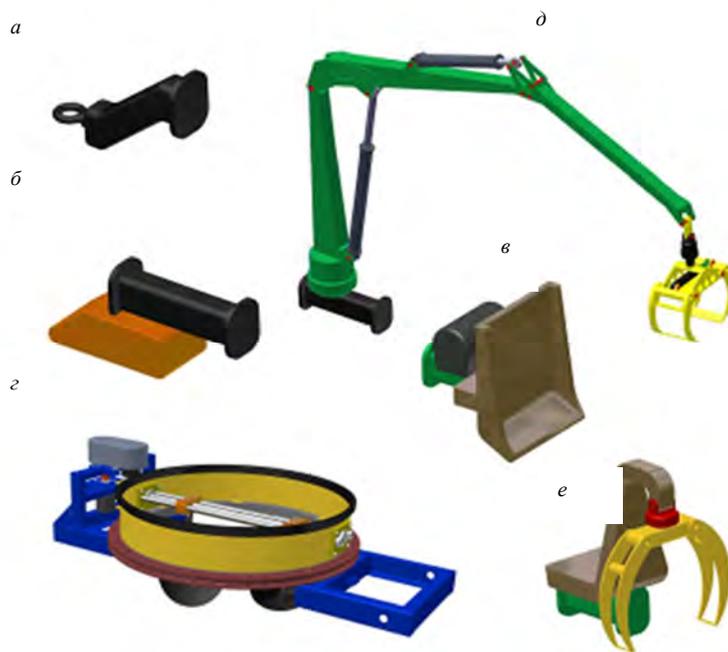


Рис. 2. Секции рамы прицепа с технологическими модулями: а – секция с опорно-сцепным устройством, б – секция с лебёдкой, в – секция с лебёдкой и гидрофицированным щитом, г – секция с плугом, д – секция с манипулятором, е – секция с пачковым клещевым захватом

В этом случае большое влияние на эффективность эксплуатации прицепных технологических модулей с секционными рамами оказывает техническое решение узла соединения секций. Данный узел, имея предельно простую конструкцию, должен обеспечивать позиционирование секций рамы с достаточной точностью, надёжно передавать статические и динамические усилия, быть технологичным в изготовлении и обеспечивать относительно лёгкое и быстрое соединение и разъединение секций.

Другой вариант конструктивного исполнения шасси прицепного технологического модуля представляет собой управляемое телескопическое дышло, схема которого представлена на рис. 3. Управление углом складывания машины осуществляется гидроцилиндрами 3, а изменение длины дышла – при помощи специального привода, который может быть выполнен в виде гидроцилиндра, передач винт – гайка или рейка – зубчатое колесо. Опорная часть шасси прицепного технологического модуля в этом случае представляет собой неприводные полноповоротные колеса со смещённой осью поворота, а также с целью уменьшения повреждения лесных почв и снижения экологического ущерба лесной среде может быть выполнена в виде гусеничного, комбинированного гусенично-колесного движителя или, например, воздушной подушки.

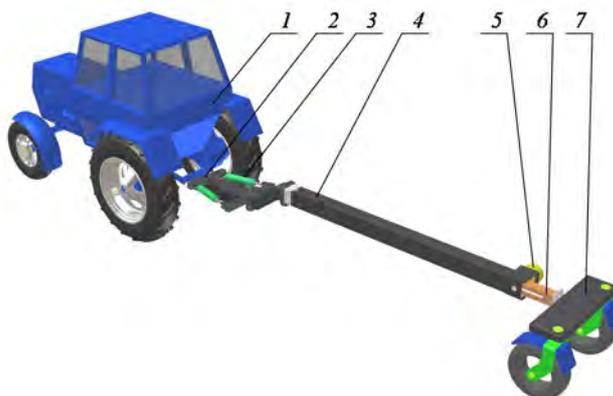


Рис. 3. Общая компоновка лесной машины с шасси прицепного технологического модуля на базе управляемого дышла: 1 – базовый трактор; 2 – тягово-сцепное устройство с вертикальным и поперечно-горизонтальным шарнирами; 3 – гидроцилиндр; 4 – неподвижная часть телескопического дышла; 5 – гидромотор привода выдвигной части телескопического дышла; 6 – подвижная часть телескопического дышла; 7 – опорный мост

Рассмотрим одно из возможных конструктивных решений опорной части шасси прицепного технологического модуля, выполненного с использованием воздушной подушки. Общая компоновка такого шасси представлена на рис. 4.

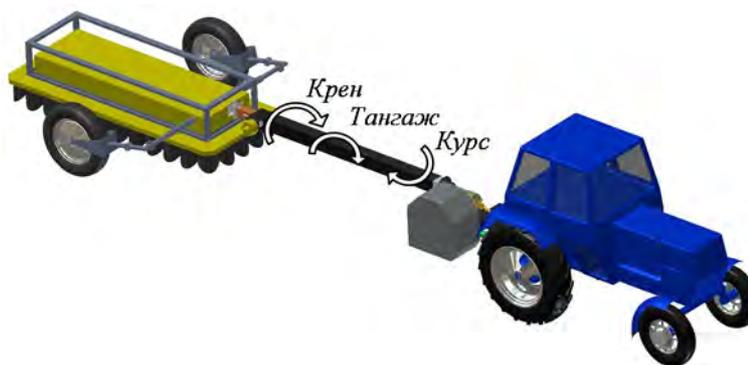


Рис. 4. Общая компоновка шасси прицепного технологического модуля на базе управляемого дышла и воздушной подушки

Принцип работы следующий. На управляемом телескопическом дышле прицепа устанавливается вентиляторная установка, состоящая из центробежного вентилятора. Привод вентилятора осуществляется от вала отбора мощности трактора через систему карданных валов, проходящих через телескопическое дышло и конический мультипликатор. Центробежный вентилятор через воздухопровод подает под давлением воздух в короб воздушной подушки. При этом технологический модуль ложится на опорную поверхность через воздушную подушку. Шасси технологического модуля также снабжено парой вспомогательных колес, используемых при режимах движения, когда применение воздушной подушки нецелесообразно (при холостом ходе, движении в хороших грунтовых условиях).

Такая конструкция позволяет использовать шасси с воздушной подушкой на прицепных технологических модулях, агрегируемых с колесными сельскохозяйственными тракторами. В данной схеме при использовании воздушной подушки прицеп с одной стороны опирается на опорно-сцепное устройство трактора, а его положение в плоскости контролируется гидроцилиндрами управляемого дышла. Таким образом решается задача управления прицепом (используя авиационные термины) по тангажу и курсу, и остаётся решить задачу только автоматического регулирования крена прицепа в режиме использования воздушной подушки.

Выводы. Описанный подход к созданию системы машины для комплексной механизации и частичной автоматизации технологических процессов в лесосечных и лесохозяйственных работах на базе адаптивно-модульных технических средств позволяет в обозримой перспективе выйти на качественно новый уровень эффективности функционирования технико-технологического обеспечения лесного комплекса.

Список литературы

1. Жуков, А.В. Теория лесных машин / А.В.Жуков. – Минск: БГТУ, 2001. – 640 с.
2. Ширнин, Ю.А. Процессы комплексного освоения участков лесного фонда при малообъемных лесозаготовках: Научное издание / Ю.А.Ширнин, К.П.Рукомойников, Е.М.Онучин; Под ред. Ю.А.Ширнина. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. – 196 с.
3. Сидыганов, Ю.Н. Модульные машины для рубок ухода и лесовосстановления: монография / Ю.Н.Сидыганов, Е.М.Онучин, Д.М.Ласточкин. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2008. – 336 с.
4. Александров, В.А. Механизация лесосечных работ в России / В.А.Александров. – СПб.: СПбЛТА, 2000. – 208 с.
5. Александров, В.А. Модифицированные сельскохозяйственные тракторы для лесозаготовок / В.А.Александров, Н.А.Гуцелюк, С.Ф.Козьмин. – М.: ВНИПИЭИлеспром, 1986. – 24 с.

Статья поступила в редакцию 08.11.11.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по государственному контракту № 16.515.11.5053 в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы».

E. M. Onuchin, V. A Gryazin

ADAPTIVE-MODULAR EQUIPMENT FOR FORESTRY COMPLEX

An approach for creation of a system of machine for complex integrated mechanization and partial automation of technological processes in harvesting and forestry operations on the basis of adaptive and modular technical facilities is presented.

Key words: *forest machinery, adaptivity, modularity, harvesting and forestry operations*

ОНУЧИН Евгений Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации машин и оборудования МарГТУ. Область научных интересов – проблемы проектирования машинно-технологического комплекса для лесопользования и утилизации органических отходов с сопутствующим получением энергоносителей. Автор 53 публикаций.

E-mail: OnuchinEM@marstu.net

ГРЯЗИН Владимир Альбертович – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин МарГТУ. Область научных интересов – проблемы совершенствования машин и оборудования лесного комплекса по критериям энергоэффективности и ресурсосбережения. Автор 68 публикаций.

E-mail: GryazinVA@marstu.net

УДК 630*612

*Ю. А. Ширнин, А. Ю. Ширнин,
А. Ю. Моржанов, И. В. Зверев*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ ТРЕЛЕВКЕ ДРЕВЕСИНЫ АДАПТИВНО-МОДУЛЬНЫМИ МАШИНАМИ

Рассмотрены технологическая схема и система машин для заготовки древесины адаптивно-модульными машинами. Рассчитаны энергозатраты на выполнение технологических операций комплектом оборудования, включающим адаптивно-модульные машины. Даны рекомендации по рациональным режимам работы и области использования рассматриваемой технологии.

Ключевые слова: моделирование, энергозатраты, адаптивно-модульные машины, комбинированная трелевка.

Введение. Функционирование современной инновационной системы эффективного устойчивого лесопользования и лесовосстановления на ландшафтно-типологической основе с использованием адаптивно-модульных технико-технологических средств должно осуществляться с учетом существующих нормативных документов. Так, в соответствии с положением об аренде участков лесного фонда предлагается их комплексное освоение по заготовке и переработке древесины и проведению лесовосстановительных мероприятий [1–3].

Реалии настоящего положения дел в лесопользовании отмечают преимущества малых лесопромышленных предприятий. На стадии накопления капитала и при существующей форме собственности на лесные ресурсы такое положение дел вполне оправдано. Организация деятельности малого лесопромышленного предприятия характеризуется тем, что вместе с лесозаготовками согласно договору аренды осуществляются лесовосстановительные мероприятия.

Лесовосстановительные работы носят кратковременный, сезонный характер. Оборудование для производства этих работ большую часть времени года, как правило, простаивает. Лесосечные работы, исходя из погодных условий, могут продолжаться большую часть времени года. Исходя из этого, может быть несколько вариантов организации работ подбора и использования лесосечно-лесовосстановительного оборудования.

Наиболее предпочтительным представляется вариант, при котором мастерский участок или бригада имеют в своем составе энергетические модули, к которым можно прицеплять (или навешивать) модули с технологическим оборудованием, обеспечивающим заготовку, обработку и переработку древесины и лесовосстановительные работы. Рабочие должны владеть смежными специальностями, обеспечивая весь комплекс лесных работ. Имея набор технологических модулей, которые за короткое время можно поменять, можно выполнять весь комплекс работ малого инновационного предприятия. Простота технологических модулей (технологического навесного оборудования) не избежать, но его цена будет минимальна при условии полной загрузки энергетических модулей. Для выполнения различных технологических операций малые предприятия целесообразно оснастить адаптивно-модульными образцами техники.

Цель работы – создание методики оценки адаптивно-модульных машин по энергозатратам и обоснование применимости предлагаемой системы машин на лесозаготовках.

Решаемые задачи, направленные на достижение цели:

- разработка математических моделей энергозатрат на выполнение операций технологического процесса;
- расчет энергозатрат;
- обоснование технологии комбинированной трелевки древесины;
- разработка рекомендаций по рациональным режимам работы и области использования.

Математическое моделирование. Энергоемкость операций технологического процесса является одним из показателей, используя который можно дать объективную оценку как вновь создаваемым машинам, так и существующим и проанализировать влияние различных факторов и лесорастительных условий на производительность машин [4]. При этом исключается влияние таких субъективных факторов, как квалификация оператора, техническое состояние машины, качество эксплуатационных материалов и т. п. Энергоемкость целесообразно представлять в единице измерения (кВт ч/га), так как она позволяет учитывать таксационные показатели лесонасаждений и вести дальнейшие расчеты, учитывая, что мощность лесозаготовительных машин представляется в кВт. Удельная энергоёмкость операций характеризуется расходом энергии на 1 м^3 заготовленной древесины и может служить вспомогательным показателем (кВт ч/м³).

Схема разработки комбинированной трелевки модульного типа представлена на рис. 1. Лесосека 1 разбивается на делянки с границей 2. В данном случае под делянкой понимается часть лесосеки, тяготеющая к одному магистральному волоку. По середине делянки разрубается магистральный волок 3. Делянку в свою очередь разбивают на пасеки 4. Валку деревьев проводят бензомоторными пилами 5 вершинами от магистрального волока. Далее поваленные деревья 6 при помощи технологического модуля с лебедкой (ТМл) 7 подтрелевывают к магистральному волоку, где при помощи бензомоторных пил производят обрезку сучьев 8 и укладку их навалок из подтрелеванной пачки 9. Затем бензопилами осуществляют раскряжевку хлыстов 10 на сортименты 11. Трелевку полученных сортиментов производят при помощи технологического модуля с грузовым отсеком (ТМго) 12 на верхний склад 13.

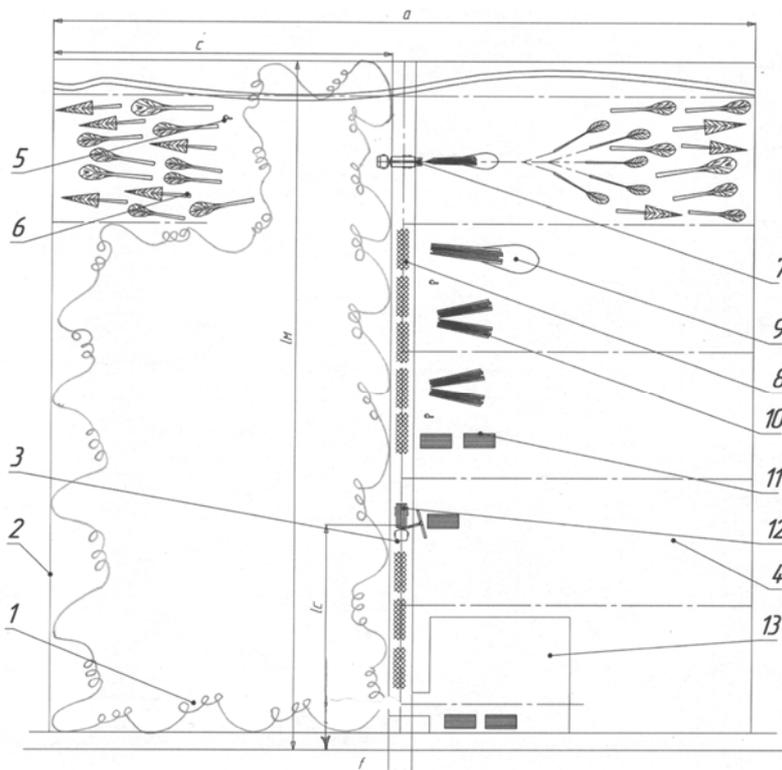


Рис. 1. Технологическая схема разработки лесосеки (волнистой линией обозначен древостой)

Цикл работы по схеме (рис. 1) технологического модуля с лебедкой осуществляется в следующем порядке [5,6]. После подтрелевки всех деревьев с пасеки и установки технологического оборудования в транспортное положение ТМл переходит к следующей пасеке. Маневрируя, ТМл подъезжает к очередному дереву-мачте, охватывает и зажимает его лапами фиксирующего устройства (рис. 2). С помощью манипулятора и грейферного захвата устанавливает опорный блок с канатом на необходимую высоту. При расторможенной лебедке канат опускается на землю под собственным весом. Далее чокеровщик осуществляет растаскивание каната к поваленным деревьям, осуществляя их чокеровку. После этого включается лебедка на выполнение рабочего хода. Деревья собираются в пачку, которая подтрелевывается к мачте для последующей обрезки сучьев и раскряжевки. Цикл растаскивания каната для чокеровки и подтрелевки повторяется до тех пор, пока не будут подтрелеваны все деревья на пасеке. Далее технологическое оборудование приводится в транспортное положение: разжимается и устанавливается на раму грейферный захват, раскрываются захваты технологического модуля. Цикл подтрелевки повторяется.

Затраты энергии в кВт·ч/м³ на переезд машины от одного дерева-мачты к другому дереву-мачте

$$\text{Эх.м} = \frac{G_m \cdot W_m \cdot \psi_m \cdot \Delta \cdot 10^4}{3600 \cdot \eta_m \cdot \Delta \cdot c \cdot q}, \quad (1)$$

где G_m – вес трелевочной машины, кН; Δ – ширина пасеки, м; c – длина пасеки, м; q – запас леса на 1 га, м³/га; W_m – коэффициент сопротивления движению машины; ψ_m – коэффициент, учитывающий увеличение расхода энергии за счет непроизводительных движений машины; η_m – КПД передачи энергии от двигателя к ходовой части машины.

Затраты энергии в кВт·ч/м³ на установку машины у дерева-мачты (рис. 2, а)

$$\text{Эу.м} = \frac{(G_{э.м} + G_{т.м}) \cdot \psi_m \cdot r \cdot 10^4}{3600 \cdot \eta_m \cdot \Delta \cdot c \cdot q}, \quad (2)$$

где $G_{э.м}$ – сила тяжести энергетического модуля, кН; $G_{т.м}$ – сила тяжести технологического модуля, кН; r – суммарная длина маневров при установке машины у дерева-мачты, м.

Затраты энергии в кВт·ч/м³ на захват дерева лапами фиксирующего устройства (рис. 2, б)

$$\text{Эз} = \frac{G_{\phi y} \cdot \psi_{\phi y} \cdot 10^4}{3600 \cdot \eta_{zy} \cdot \Delta \cdot c \cdot q} \cdot \frac{(b-d)}{2}, \quad (3)$$

где $G_{\phi y}$ – сила тяжести фиксирующего устройства, которая захватывает дерево-мачту, кН; d – средний диаметр дерева в точке обхвата, м; b – расстояние между лапами фиксирующего устройства, м; $\psi_{\phi y}$ – коэффициент, учитывающий увеличение расхода энергии на захват дерева-мачты фиксирующим устройством за счет непроизводительных движений; η_{zy} – КПД передачи энергии от двигателя к фиксирующему устройству.

Затраты энергии в кВт·ч/м³ на установку опорного блока (рис. 2, с)

$$\text{Эз.д} = \frac{(G_c \cdot l_{x.n.c} \cdot \beta_c + G_p \cdot l_{x.n.p} \cdot \beta_p + G_z \cdot l_{x.n.z} \cdot \beta_z) \cdot \psi_{\phi м} \cdot 10^4}{3600 \cdot \eta_{эз} \cdot \Delta \cdot c \cdot q}, \quad (4)$$

где G_c , G_p , – силы тяжести соответственно стрелы и рукояти манипулятора, кН; G_z – сила тяжести грейферного захвата, кН; β_c – коэффициент, учитывающий увеличение расхода энергии за счет трения в шарнирах при подъеме стрелы манипулятора; β_p – коэффициент, учитывающий увеличение расхода энергии за счет трения в шарнирах при подъеме рукояти манипулятора; β_z – коэффициент, учитывающий увеличение расхода энергии за счет трения в шарнирах грейферного захвата; $\psi_{\phi м}$ – коэффициент, учитывающий увеличение расхода энергии на фиксацию манипулятора за счет непроизводительных движений; $l_{x.n.c}$ – ход поршня гидроцилиндра стрелы манипулятора, м; $l_{x.n.p}$ – ход поршня гидроцилиндра рукояти манипулятора, м; $l_{x.n.z}$ – ход поршня гидроцилиндра подвижной клещевины, м.

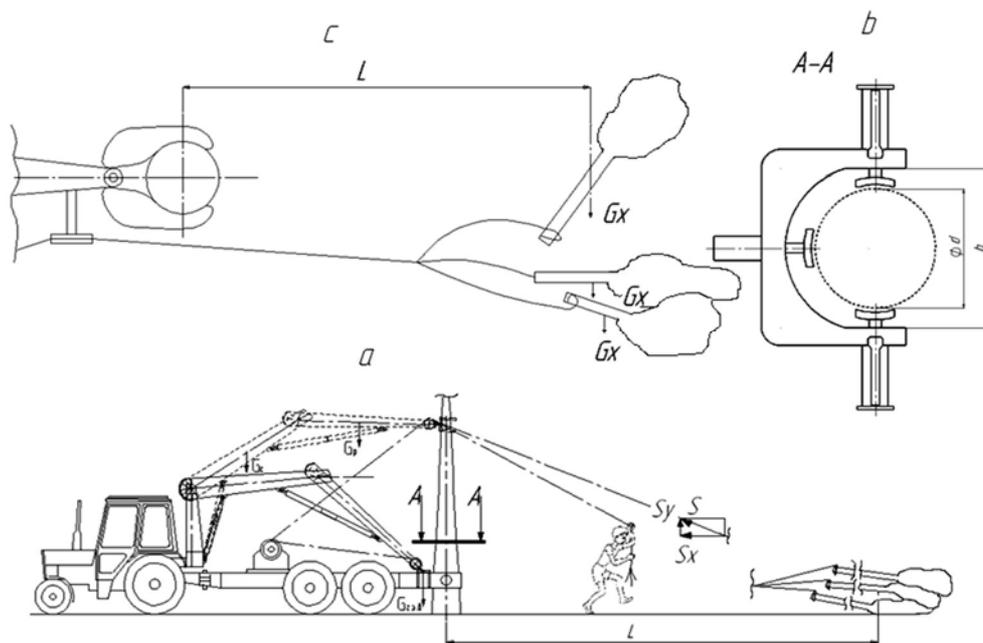


Рис. 2. Работа технологического модуля с лебедкой: а – схема растаскивания каната, б – зажим дерева технологическим модулем, с – установка опорного блока манипулятора на дереве-мачте

Затраты энергии в кВт·ч/м³ на растаскивание каната (рис. 2, а)

$$\text{Эр.к} = \frac{(G_p + q_k \cdot L + G_q) \cdot c \cdot \psi_{x.ч} \cdot \beta}{3600 \cdot 2 \cdot M_n}, \quad (5)$$

где G_p – сила тяжести рабочего, растаскивающего канат, кН; q_k – сила тяжести 1-го погонного метра каната, Н/м; G_q – сила тяжести чокеров, кН; $L = c/2$ – среднее расстояние подтрелевки, м; c – длина пачки, м; β – коэффициент, учитывающий силу трения между канатом и барабаном лебедки и канатом и блоком; M_n – объем трелюемой с помощью лебедки пачки, м³, $M_n = n_1 \cdot V_{хл.}$, где n_1 – число деревьев в пачке (число чокеров); $\psi_{x.ч}$ – коэффициент, учитывающий увеличение расхода энергии на перемещения рабочего к трактору (холостой ход).

Затраты энергии в кВт·ч/м³ на чокеровку. Учитываются переходы рабочего с чокерами между деревьями

$$\text{Эч} = \frac{(G_q + G_p) \cdot \frac{M_n}{V} \cdot \psi_{ч} \cdot \beta_{ч} \cdot 100 \cdot \sqrt{\frac{V}{q}}}{3600 \cdot M_n}, \quad (6)$$

где G_q – сила тяжести чокеров, кН; V – средний объем хлыста, м³; $\psi_{ч}$ – коэффициент, учитывающий увеличение расхода энергии на зацепку чокеров; $\beta_{ч}$ – коэффициент, учитывающий увеличение энергии за счет обвязки чокера вокруг ствола.

Затраты энергии в кВт·ч/м³ на формирование и трелевку пачки

$$\text{Эт} = \frac{[G_{II} \cdot k + G_{II} \cdot W_n \cdot (1 - k) + R \cdot W_b] \cdot L \cdot \psi_{ч} \cdot \beta}{3600 \cdot M_n \cdot \eta_n}, \quad (7)$$

где k – коэффициент распределения веса пачки между чокерами и волоком (учитывается при подъеме переднего конца пачки); η_n – КПД передачи энергии от двигателя к лебедке; W_b – коэффициент сопротивления вращению блока в цапфах; R – равнодействующая сил натяжения набегающей и сбегающей ветвей каната опорного блока, кН; $G_{II} = \gamma \cdot M_{II}$ – сила тяжести трелюемой пачки деревьев, кН, где γ – объемный вес древесины, кН/м³.

Затраты энергии в кВт·ч/м³ на приведение ТМЛ в транспортное положение

$$\text{Эт.п} = \frac{(G_c \cdot l_{x.n.c} + G_p \cdot l_{x.n.p} + G_b \cdot l_{x.n.b}) \cdot \psi_{p.m} \cdot \psi_{m.m} \cdot \psi_{o.f.n} \cdot 10^4}{3600 \cdot \eta_m \cdot \Delta \cdot c \cdot q}, \quad (8)$$

где $\psi_{p.m}$ – коэффициент, учитывающий увеличение расхода энергии на раскладывание манипулятора; $\psi_{m.m}$ – коэффициент, учитывающий увеличение расхода энергии при фиксации манипулятора в транспортное положение; $\psi_{o.f.n}$ – коэффициент, учитывающий увеличение расхода энергии на отсоединение фиксирующей платформы.

Общая сумма затрат энергии при трелевке ТМл в расчете на 1 м³ подтрелеванной древесины составит

$$\begin{aligned} \text{Эобщ.} = \text{Эх.м} + \text{Эу.м} + \text{Эз.д} + \text{Эр.к} + \text{Эч} + \text{Эт} + \text{Эт.п} + \text{Ээ.м} = & \frac{G_m \cdot W_m \cdot \psi_m \cdot \Delta \cdot 10^4}{3600 \cdot \eta_m \cdot \Delta \cdot c \cdot q} + \\ & \frac{(G_{э.м} + G_{м.м}) \cdot \psi_m \cdot r \cdot 10^4}{3600 \cdot \eta_m \cdot \Delta \cdot c \cdot q} + \frac{G_{фв} \cdot \psi_{фв} \cdot 10^4}{3600 \cdot \eta_{зв} \cdot \Delta \cdot c \cdot q} \cdot \frac{(b-d)}{2} + \frac{(G_p + q_k \cdot L + G_q) \cdot c \cdot \psi_{x.ч} \cdot \beta}{3600 \cdot 2 \cdot M_n} + \\ & \frac{(G_c \cdot l_{x.n.c} \cdot \beta_c + G_p \cdot l_{x.n.p} \cdot \beta_p + G_z \cdot l_{x.n.z} \cdot \beta_z) \cdot \psi_{мб} \cdot 10^4}{3600 \cdot \eta_{зз} \cdot \Delta \cdot c \cdot q} + \frac{(G_q + G_p) \cdot \frac{M_n}{V} \cdot \psi_{ч} \cdot \beta_{ч} \cdot 100 \cdot \sqrt{\frac{V}{q}}}{3600 \cdot M_n} + \\ & \frac{[G_{п} \cdot k + G_{п} \cdot W_n \cdot (1-k) + R \cdot W_b] \cdot L \cdot \psi_{ч} \cdot \beta}{3600 \cdot M_n \cdot \eta_n} + \frac{(G_c \cdot l_{x.n.c} + G_p \cdot l_{x.n.p} + G_b \cdot l_{x.n.b}) \cdot \psi_{p.m} \cdot \psi_{m.m} \cdot \psi_{o.f.n} \cdot 10^4}{3600 \cdot \eta_m \cdot \Delta \cdot c \cdot q}. \quad (9) \end{aligned}$$

Следуя за процессом валки деревьев, ТМл обрабатывает сначала пачку, находящиеся справа от магистрального волока, а потом слева от него. Таким образом обработав последнюю пачку слева от магистрального волока, машина подъезжает к месту расположения ТМго, производит замену модулей. Далее двигаясь по магистральному волоку (холостой ход), подъезжает к штабелям сортиментов, разворачивается, загружает грузовой отсек (рис. 3) и трелюет пачку сортиментов (грузовой ход) на погрузочный пункт. Там осуществляется выгрузка сортиментов. Цикл сбора и трелевки повторяется до тех пор, пока все сортименты не будут стрелованы.

Затраты энергии в кВт·ч/м³ при движении ТМго в холостом направлении

$$\text{Эх.н} = \frac{G_m \cdot W_m \cdot B \cdot \psi_{mc}}{2 \cdot 3600 \cdot \eta_m \cdot M_c}, \quad (10)$$

где l_c – среднее расстояние трелевки, м; $l_c = B/2$, где B – длина делянки, м; M_c – число пачек сортиментов, м³; ψ_{mc} – коэффициент, учитывающий непроизводительные движения, в том числе на смены модулей.

Затраты энергии в кВт·ч/м³ на погрузку деревьев в грузовой отсек (рис. 3)

$$\text{Эп.д} = \text{Эп.к} + \text{Эд.м},$$

где Эп.к , Эд.м – затраты энергии, соответственно, на погрузку пачек, движение манипулятора при погрузке, при трелевке леса с площади 1 га, кВт·ч/га.

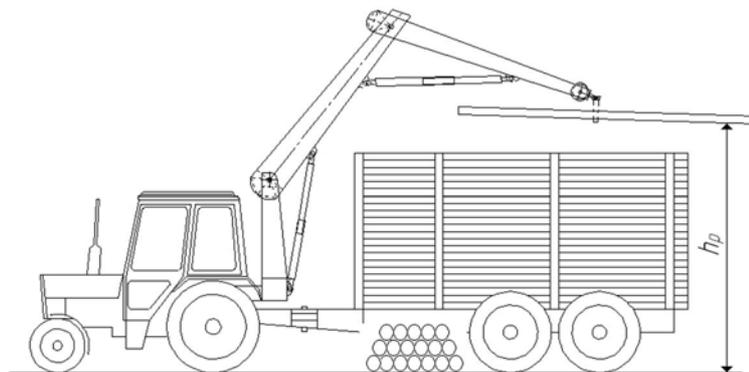


Рис. 3. Технологический модуль с грузовым отсеком

Тогда

$$\text{Эп.д} = \text{Эп.к} + \text{Эд.м} =$$

$$= \frac{G_n \cdot n_n}{3600 \cdot q} \left(\frac{h_n \cdot \psi_c}{\eta_c} + \frac{r_n \cdot W_{n.в} \cdot \mu_1 \cdot \psi_{n.в}}{\eta_{n.в}} \right) + \frac{n_n \cdot m}{3600 \cdot q} \left(\frac{2 \cdot G_c \cdot r_c \cdot W_c \cdot \psi_c}{\eta_c} + \frac{2 \cdot G_{n.в} \cdot r_{n.в} \cdot W_{n.в} \cdot \mu_1 \cdot \psi_{n.в}}{\eta_{n.в}} \right), \quad (11)$$

где G_n – вес пачки, кН; G_c – вес стрелы с рукоятью и грейферным захватом, кН; $G_{n.в}$ – вес поворотной части манипулятора, кН; $\psi_{n.в}$ – коэффициент, учитывающий увеличение расхода энергии за счет непроизводительных движений поворотной части манипулятора; ψ_c – коэффициент, учитывающий увеличение расхода энергии за счет непроизводительных движений стрелы с рукоятью; h_n – высота подъема группы сортиментов при ее погрузке, м; r_n – расстояние от вертикальной оси поворота колонны до центра сечения группы сортиментов, м; $r_{n.в}$ – расстояние от вертикальной оси поворота колонны до центра тяжести поворотной части, м; r_c – расстояние по горизонтали от оси поворота стрелы до центра ее тяжести, м; $W_{n.в}$ – угол поворота, соответственно, колонны с манипулятором в горизонтальной плоскости, рад; W_c – угол поворота стрелы с рукоятью в вертикальной плоскости, рад; μ_1 – коэффициент трения колонны манипулятора о поворотный круг; m – число циклов погрузки одной пачки; η_c – КПД передачи энергии от двигателя к механизму поворота колонны; $\eta_{n.в}$ – КПД передачи энергии от двигателя к механизму управления манипулятором.

Затраты энергии в кВт·ч/м³ при движении ТМго в грузовом направлении

$$\text{Эг.н} = \frac{G_n \cdot l_c \cdot n_n \cdot \psi_m \cdot W_m}{3600 \cdot \eta_m \cdot q} + \frac{G_m \cdot W_m \cdot l_c \cdot n_n \cdot \psi_m}{3600 \cdot \eta_m \cdot q}. \quad (12)$$

Затраты энергии в кВт·ч/м³ на разгрузку сортиментов

$$\text{Эр.д} = \frac{G_m \cdot W_m \cdot n_n \cdot \psi_m \cdot l_{x.n}}{3600 \cdot \eta_m \cdot q} + \frac{G_n \cdot \mu_2 \cdot n_n \cdot \psi_m \cdot l_{x.n}}{3600 \cdot \eta_m \cdot q}, \quad (13)$$

где μ_2 – коэффициент трения между пачкой и грузовым отсеком.

В вышеприведенных выражениях:

$$n_n = \frac{q \cdot \gamma}{G_n}, \quad (14); \quad m = \frac{G_n}{F_m \cdot \varphi_m}, \quad (15)$$

где F_m – грузоподъемность манипулятора, кН; φ_m – коэффициент использования грузоподъемности манипулятора.

Общая сумма затрат энергии при трелевке ТМго с площади 1 га составит:

$$\begin{aligned} \text{Эобщ.} = \text{Эх.н} + \text{Эп.д} + \text{Эг.н} + \text{Эр.д} = & \frac{G_n \cdot l_c \cdot n_n \cdot \psi_m \cdot W_m}{3600 \cdot \eta_m \cdot q} + \frac{G_m \cdot W_m \cdot l_c \cdot n_n \cdot \psi_m}{3600 \cdot \eta_m \cdot q} + \\ & \frac{G_n \cdot n_n}{3600 \cdot q} \left(\frac{h_n \cdot \psi_c}{\eta_c} + \frac{r_n \cdot W_{n.в} \cdot \mu_1 \cdot \psi_{n.в}}{\eta_{n.в}} \right) + \frac{n_n \cdot m}{3600 \cdot q} \left(\frac{2 \cdot G_c \cdot r_c \cdot W_c \cdot \psi_c}{\eta_c} + \frac{2 \cdot G_{n.в} \cdot r_{n.в} \cdot W_{n.в} \cdot \mu_1 \cdot \psi_{n.в}}{\eta_{n.в}} \right) + \\ & + \frac{G_m \cdot W_m \cdot n_n \cdot \psi_m \cdot l_{x.n}}{3600 \cdot \eta_m \cdot q} + \frac{G_n \cdot \mu_2 \cdot n_n \cdot \psi_m \cdot l_{x.n}}{3600 \cdot \eta_m \cdot q} + \frac{G_m \cdot W_m \cdot B \cdot \psi_{mc}}{2 \cdot 3600 \cdot \eta_m \cdot M_c}. \end{aligned} \quad (16)$$

Порядок вычислений и обработка полученных результатов. Вычисление результатов по полученным математическим моделям проводилось при помощи программы Excel в следующем порядке: обоснование исходных данных; ввод исходных данных в программу; ввод формул в программу; получение результатов расчетов; получение зависимостей энергозатрат от параметров лесных ресурсов; выводы.

Интерпретация результатов и их анализ. По приведенным выше формулам при помощи программы Excel были просчитаны энергозатраты при различных возможных значениях параметров, входящих в формулы. Полученные зависимости энергозатрат отражены на графиках (рис. 4–6).

Графики построены при следующих значениях исходных данных:

$G_M = 82, \text{ кН}; Q = 72,2, \text{ м}^3; \Delta = 35, \text{ м}; c = 125, \text{ м}; q = 165, \text{ м}^3/\text{га}; W_M = 0,22; \psi_M = 1,3; \eta_M = 0,75; G_{\text{э.м}} = 57, \text{ кН}; G_{\text{т.м}} = 25, \text{ кН}; r = 20, \text{ м}; G_{\text{ф.у}} = 7, \text{ кН}; d = 0,6, \text{ м}; b = 1,2, \text{ м}; \psi_{\text{ф.у}} = 1,05; \varphi_M = 1,05; \eta_{\text{з.у}} = 0,7; G_c = 4, \text{ кН}; G_p = 1,5, \text{ кН}; G_z = 2,1, \text{ кН}; \beta_c = 1,05; \beta_p = 1,05; \beta_z = 1,05; \psi_{\text{ф.м}} = 1,05; l_{\text{х.л.с}} = 0,9, \text{ м}; l_{\text{х.л.р}} = 0,5, \text{ м}; l_{\text{х.л.г}} = 0,4, \text{ м}; G_{\text{раб.}} = 0,7, \text{ кН}; q_k = 3, \text{ Н/м}; G_u = 0,3, \text{ кН}; L = c/2 = 47,5, \text{ м}; \beta = 1,05; M_n = 5,7, \text{ м}^3; W_n = 0,85; \gamma = 8,2, \text{ кН/м}^3; F_k = 40, \text{ кН}; \psi_{\text{х.ч}} = 1,05; V = 0,25, \text{ м}^3; \psi_u = 1,05; R = 5, \text{ кН}; n_1 = 8; \beta_u = 1,05; G_x = 0,3, \text{ кН}; k = 0,8; \eta_l = 0,7; \psi_{\text{р.м}} = 1,05; \psi_{\text{м.м}} = 1,05; \psi_{\text{о.ф.н}} = 1,05; l_{\text{х.н}} = 0,7, \text{ м}; l_c = 95, \text{ м}; M_c = 5, \text{ шт}; \psi_{\text{м.с}} = 1,15; G_n = 26, \text{ кН}; G_{\text{н.г}} = 4, \text{ кН}; \psi_{\text{н.г}} = 1,05; \psi_c = 1,05; h_n = 3,5, \text{ м}; r_n = 6, \text{ м}; r_{\text{н.г}} = 3, \text{ м}; r_c = 4, \text{ м}; W_{\text{н.г}} = 170, \text{ рад}; W_c = 150, \text{ рад}; \mu_1 = 1,2; m = 3; \eta_c = 0,7; \eta_{\text{н.г}} = 0,7; \mu_2 = 1,1; F_M = 13,6, \text{ кН}.$

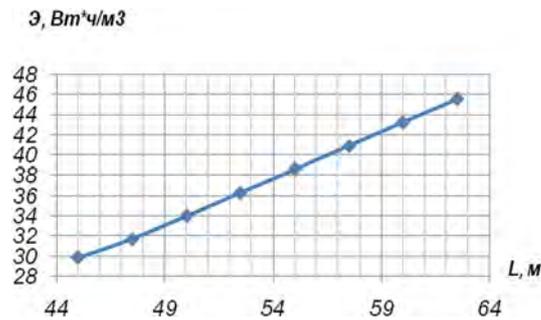


Рис. 4. График зависимости энергозатрат Эобщ = f(L) от длины растаскивания каната ТМл

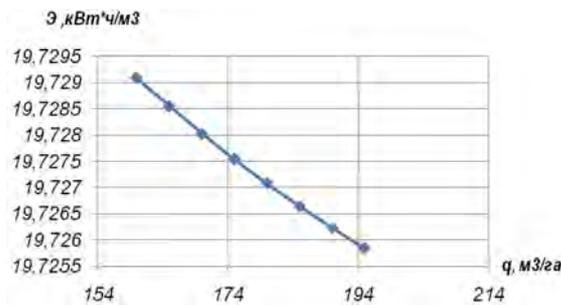


Рис. 5. График зависимости энергозатрат Эобщ = f(q) от запаса леса на 1 га ТМл

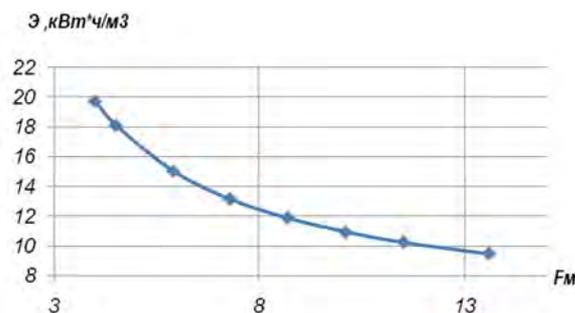


Рис. 6. График зависимости энергозатрат Эобщ = f(Fм) от грузоподъемности манипулятора ТМго

Выводы. Изложенная методика моделирования энергозатрат при комбинированной трелевке древесины адаптивно-модульными машинами позволяет моделировать энергозатраты для других комплектов машин с целью их сравнения и выбора рациональной системы машин. Рассмотренная технологическая схема и система машин для заготовки древесины комбинированным (машинным и механизированным) способом является перспективной с точки зрения затрат энергии.

Полученные в результате расчета численные характеристики и графики дают возмож-

ность оценить влияние факторов предмета труда, условия работы и параметров машин на суммарные энергозатраты. Предложенная технологическая схема и комплект машин рекомендуются для системы эффективного устойчивого лесопользования при освоении заболоченных, переувлажненных лесосек и поврежденных пожаром древостоев.

Список литературы

1. Процессы комплексного освоения участков лесного фонда при малообъемных лесозаготовках: Научное издание / Ю.А. Ширнин, К.П. Рукомойников, Е.М. Онучин; Под ред. Ю.А. Ширнина. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. – 196 с.
2. Ширнин, Ю.А. Комплексное освоение участков лесного фонда / Ю.А. Ширнин // ИВУЗ. Лесной журнал. – 2002. – № 4. – С. 89–95.
3. Ширнин, Ю.А. Технология и оборудование малообъемных лесозаготовок и лесовосстановление / Ю.А. Ширнин, Ф.В. Пошарников. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. – 398 с.
4. Кочегаров, В.Г. Исследование некоторых параметров трелевочных машин / В.Г. Кочегаров, Ю.А. Ширнин // ИВУЗ. Лесной журнал. – 1981. – № 4. – С. 47 – 52.
5. Патент № 2357407 РФ, МКИ⁷ А01G23/00. Способ и машина для трелевки / Ширнин Ю. А., Ширнин А. Ю., Богатырева Е.А., Аказова О.В.; заявитель и патентообладатель Марийский гос. тех. университет. – 2007122910/12; заявл. 18.06.2007; опубл. 10.06.2009, Бюл. № 8. – 5 с.
6. Ширнин, Ю. А. Методика обоснования режимов работы технологических модулей при комбинированной трелевке древесины / Ю. А. Ширнин, А. Ю. Ширнин // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2008. – № 2. – С. 51-59.

Статья поступила в редакцию 03.10. 11.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по государственному контракту № 16.515.11.5053 в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы».

*Yu. A. Shirnin, A. Yu. Shirnin,
A. Yu. Morzhanov, I. V. Zverev*

POWER INPUTS MODELING IN COMBINED LOGGING OF THE WOOD WITH ADAPTIVE-MODULAR MACHINERY

A technological scheme and a system of machines for timber harvesting with adaptive-modular machinery are considered. Power inputs for technological operations performance with a set of equipment including adaptive-modular machinery are calculated. Recommendations concerning rational operating modes and spheres of considered technology use are given.

Key words: modeling, power inputs, adaptive-modular machinery, combined logging.

ШИРНИН Юрий Александрович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесопромышленных производств МарГТУ. Область научных интересов – моделирование и оптимизация технологических параметров лесозаготовок, эффективность технологического процесса рубок леса. Автор более 200 публикаций.

E-mail: ShirninYA@marstu.net

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

E-mail: alex-1567@yandex.ru

МОРЖАНОВ Александр Юрьевич – аспирант кафедры технологии и оборудования лесопромышленных производств МарГТУ. Область научных интересов – технология лесозаготовок. Автор двух публикаций.

E-mail: aleksahka-m@mail.ru

ЗВЕРЕВ Илья Владимирович – аспирант кафедры технологии и оборудования лесопромышленных производств МарГТУ. Область научных интересов – технология лесозаготовок. Автор трех публикаций.

E-mail: zvilya@spartak.ru

УДК 621.993.6

М. В. Боярский, О. Г. Тарасова

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ И ЛЕСОПИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ (на базе двухэтажной лесопильной рамы)

Разработана схема комплексной системы диагностирования, позволяющая осуществлять оперативный контроль качества сырья, пиломатериалов и технического состояния оборудования для принятия объективных управляющих решений на основе анализа информации об объектах диагностирования. Составлен алгоритм диагностирования пиломатериалов и лесопильного оборудования в качестве основы для углубленной проработки основных стандартных положений диагностирования в лесопилении.

Ключевые слова: модель управления процессом пиления, система диагностирования, алгоритм диагностирования, лесопильная рама (ЛР), пиломатериалы (ПМ), контролепригодность, технический контроль, оперативный контроль качества.

Введение. Программа Правительства России и Совета по развитию лесного комплекса до 2020 года предлагает механизмы оптимизации лесопользования, таможенно-тарифного регулирования, экспорта необработанной низкосортной древесины и глубокой обработки древесного сырья. Основой для эффективного использования древесины в деревообработке является выработка качественных пиломатериалов.

Повышение качества российской пилопродукции, ее конкурентоспособности позволит не только вернуть утраченные экспортные позиции, но и создаст благоприятные условия для более эффективной конкуренции продукции всей деревообрабатывающей промышленности как внутри страны, так и на внешнем рынке. Основное направление для решения этой проблемы – совершенствование стандартных и (или) разработка новых методов повышения точности существующего оборудования, обладающего достаточным эксплуатационным ресурсом. Многие исследователи, проводя сравнения по производительности и качеству пиления на ЛР и ленточно-пильных станках, отмечая их достоинства и недостатки, приходят к выводу о комплексном использовании обоих видов оборудования в одном потоке: В. И. Онегин, А. Н. Чубинский [1], Г. Ф. Прокофьев [2], В. Виноградский, П. Ланца [3] и др.

Организация процесса производства и контроля невозможна без использования нормативной документации. Анализ позволил установить, что применяемая в лесопилении документация на методы контроля ПМ по ГОСТ 2140 [4] и ЛР по ГОСТ 10294 [5] не согласована с ГОСТ 25338 [6] и практически не актуализирована [7–10].

Несмотря на значительный износ лесопильного оборудования, возможно эффективное использование рамных потоков при проведении налаженного технического обслуживания на основе данных объективного и оперативного контроля его состояния. Широкое применение современных знаний в области управления качеством, стандартизации и диагностирования позволит ЛР обрести «второе дыхание» [3] на основе:

- 1) всеобщего управления качеством (TQM) и стандартов серии ИСО 9000;
- 2) совершенствования стандартных требований по диагностированию состояния оборудования и ПМ;

3) совершенствования стандартных требований по оперативному контролю за геометрической и технологической точностью настройки и работы оборудования.

Современное состояние лесопильного оборудования (с техническим износом до 70 %) ставит перед специалистами задачу по созданию комплексной системы *диагностирования лесопильного оборудования* с разработкой новых методик, адаптированных к состоянию машин и механизмов, позволяющей *оперативно*, с минимальными затратами осуществлять мониторинг процесса пиления и технического состояния оборудования и, соответственно, обеспечить необходимое качество изготавливаемой продукции.

Цель работы: поиск путей для повышения качества ПМ и ЛР.

Решаемые задачи:

1) изучение нормативных документов и технической литературы на методы контроля точности изготовления ПМ, геометрической и технологической настройки ЛР и околорамного оборудования для выявления показателей качества, характеризующих состояние объектов при диагностировании, и требований к ним;

2) анализ существующего положения с диагностированием ПМ и ЛР;

3) выявление первоочередных мероприятий по совершенствованию системы оперативного диагностирования (составление алгоритма диагностирования);

4) разработка схемы комплексной системы оперативного диагностирования лесопильного оборудования на основе установления логических связей между дефектами, диагностическими признаками и причинами появления дефектов.

Для обеспечения качества продукции в отраслях приборо-машино-авиастроения и др. уже давно применяются системы диагностирования, обобщенные в ГОСТ 26656 [11], ГОСТ 20911 [12]. Однако до лесопиления их рекомендации «не дошли». Аналогичная работа велась по системе планово-предупредительных ремонтов, по разработке РТМ, других видах работ, но не нашла отражения в стандартах.

Существующая на предприятиях отрасли система контроля качества пиломатериалов, основанная на устаревших стандартизованных методах контроля, не обеспечивает мониторинг изменения качества пилопродукции, так как не дает возможность объективно его оценить и диагностировать состояние лесопильного оборудования по схемам, установленным в нормативной документации. На многих лесопильных предприятиях практически имеется система диагностирования ПМ и ЛР, но, к сожалению, основанная на **визуальном** контроле **технического брака** (наличие крыловатости, кривизны и т.д.) опытными контролерами или самими рабочими. Основной вид **объективного** контроля – это измерение толщины бруса (или необрезных досок) при первом проходе и сечения обрезных досок при втором проходе. Цель управления качеством состоит в предотвращении появления несоответствующей продукции на основе оперативного контроля над негативными тенденциями в изменении качества.

В основе анализа существующего положения с диагностированием в лесопилении лежит установление и соотнесение основных понятий по контролю состояния объектов исследования – ПМ и ЛО с терминологией из области диагностирования, т.к. в данной отрасли эти термины [12] применяются пока достаточно редко.

Объект диагностирования (изделие, подлежащее диагностированию) – пиломатериал обрезной или необрезной (пласти, кромки, торцы) и лесопильное оборудование (в данном случае двухэтажная лесопильная рама и околорамное оборудование).

Техническое состояние объектов оценивается значениями параметров объектов:

– ПМ по ГОСТ 2140, ГОСТ 8486, ГОСТ 10294;

– ЛО по ГОСТ 25338, ГОСТ 10294, Паспорта на соответствующее оборудование, РТМ.

Техническая диагностика ПМ и ЛО включает теорию, методы и средства определения технического состояния объектов. Теоретические разработки и практические исследования по оценке данных объектов представлены нормативной документацией [5, 6, 13, 14], тех-

нической и научной литературой [2, 7, 8, 10, 15, 16]. Методы и средства контроля регламентированы требованиями нормативных документов ГОСТ 2140, ГОСТ 8486, ГОСТ 10294, ГОСТ 25338. Установлено, что ряд стандартных методик не содержат необходимые схемы проверок и виды средств контроля, что не дает возможность осуществить диагностирование состояния ПМ и ЛО.

Техническое диагностирование ПМ и ЛО заключается в определении технического состояния объектов. Это возможно осуществить при установлении диагностических признаков, характеризующих состояние объектов исследования, и необходимого и достаточного перечня контролируемых показателей [10] с разработкой алгоритма диагностирования (совокупности предписаний, определяющих последовательность действий при проведении диагностирования): контроль состояния объекта → определение причин неисправности (дефекта) → прогнозирование состояния или процесса [12].

Диагностическая модель содержит формализованное описание объекта в разных формах: аналитической, табличной, графической и др. Подобные формализованные описания причинно-следственных связей для рамной распиловки (связь дефектов ПМ с дефектами настройки ЛР) имеются во многих источниках (научной, технической и учебной литературе) и в разном виде (чаще всего в виде таблиц, реже в виде графиков).

Диагностическое обеспечение включает комплекс правил, методов, алгоритмов и средств контроля. В лесопилении оно представлено нормативными документами и техническими средствами по контролю ПМ и ЛО, нуждающимися в настоящее время в пересмотре и разработке новых. Особенность диагностики в лесопилении – это двойное понимание «отказа» оборудования (или сбоя в его работе). Если отказ транспортного средства выражается в неспособности выполнять заданную функцию, то в лесопилении такой прямой отказ оборудования дополняется неспособностью производить качественный пиломатериал.

Применение методов управления качеством и технической диагностики дает возможность выявить недостатки в существующей практической системе диагностики и управления качеством пиломатериалов и оборудования.

Применительно к процессу пиления можно выделить основные цели технической диагностики:

- оценка технического состояния оборудования;
- оценка технических погрешностей пиломатериалов;
- установление количественных связей между погрешностями ПМ и ЛО;
- организация обслуживания и ремонта оборудования по результатам контроля: во-первых, по наличию и распределению погрешностей по длине доски; во-вторых, по техническому состоянию оборудования;
- оценка целесообразности дальнейшей эксплуатации оборудования с учетом прогнозирования его технического состояния при выявленных дефектах.

В соответствии с имеющимися рекомендациями ГОСТ 20911 [12] существующая система диагностирования в лесопилении нуждается в существенной доработке.

На основе отечественного опыта и нормативной документации по техническому диагностированию на контролепригодность [10–12] для лесопильного оборудования можно сформулировать следующий алгоритм:

- 1) установление диагностических признаков и показателей качества готовой продукции, видов дефектов;
- 2) контроль пилопродукции и технического состояния оборудования;
- 3) анализ полученной информации;
- 4) поиск места и причин появления несоответствующей продукции (с крыловатостью, волнистым пропилом, кривизной, мшистостью, рисками, неправильным размером по длине и ширине и т.д.) и отклонений в положении механизмов лесопильного и околорамного оборудования;

5) прогнозирование качества продукции по существующему техническому состоянию оборудования;

6) разработка соответствующих мероприятий по управлению процессом.

В частности, диагностические признаки ПМ и ЛО возможно представить в виде матрицы распределения дефектов обработки в зависимости от причин их появления. За основу берутся основные виды дефектов (Д1 – кривизна, Д2 – крыловатость, Д3 – волнистый пропил, Д4 – неправильный размер по толщине или ширине), на появление которых основное влияние оказывает техническое состояние оборудования и причины их появления: И1 – режущий инструмент, полотно и зубья рамных пил (около 14), И2 – межпилльные прокладки (около 3); И3 – лесопильная рама (около 11), И4 – околорамное оборудование (около 11), И5 – персонал (около 6). Более подробно распределение причин появления погрешностей пиломатериалов рассмотрено авторами по методологии «5М», предусматривающей разделение по следующим направлениям: механизмы, материалы, персонал, методы, менеджмент, окружающая среда [8].

Ввиду большого количества причин, вызывающих появление дефектов, в нашей работе выявление диагностических признаков ограничено только ПМ. Авторами разработана и предложена схема (рис.1) установления логических связей между дефектами (их признаками) и причинами возникновения дефектов пиломатериалов.

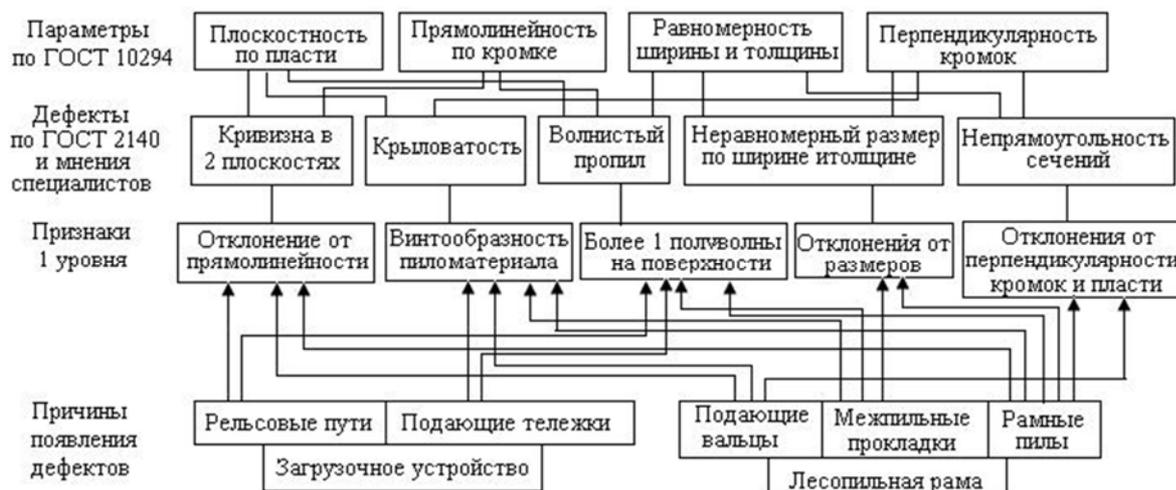


Рис.1. Структурная схема установления логических связей для пиломатериалов

В общей сложности для четырех основных видов дефектов (указанных в ГОСТ 2140 и согласно мнений специалистов) определено четыре вида признаков I уровня. Для комплексной системы оперативного диагностирования состояния продукции и оборудования авторами предложено разделение всех диагностических признаков на три уровня: один для пиломатериалов и два – для оборудования, как сложной системы. Первый уровень определен для пиломатериалов, так как ее качественные характеристики служат индикатором для оценки точности настройки и работы оборудования. Данная классификация позволяет в первую очередь осуществить визуальную оценку состояния продукции и машин по внешним диагностическим признакам, а во вторую – осуществлять количественную оценку с применением средств измерения.

Конструкция объекта (лесопильной рамы) и его составных частей должна обеспечивать доступ средств диагностирования к контрольным точкам или сечениям без разборки узлов и механизмов и исключать возможность повреждения объектов при присоединении средств диагностирования (контроля). Улучшение качества диагностирования и уменьшение дефектной продукции возможно за счет повышения контролепригодности оборудования. Конструкция

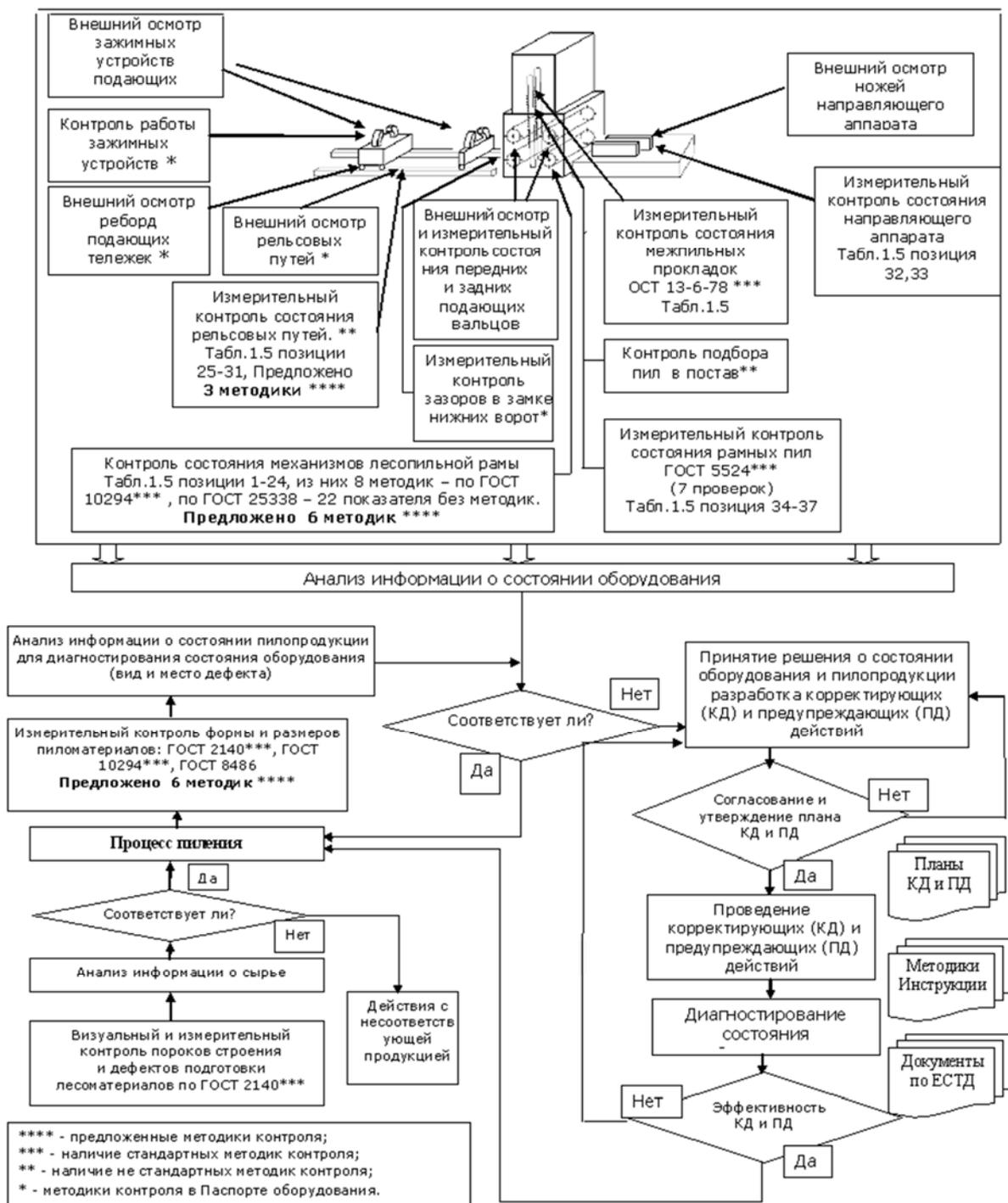


Рис.2. Блок-схема комплексной системы диагностирования лесопильного оборудования и пиломатериалов

лесопильной рамы контролепригодна практически без дополнительной разборки при открытии верхних и нижних передних ворот. Анализ источников позволил выявить более 50 показателей, из которых только около 30 % имеют стандартные методики проверки.

Одним из основных показателей, характеризующих приспособленность объектов к диагностированию по ГОСТ 26656 [11] является коэффициент безразборного диагностирования $K_{б.д.}$, в соответствии с предложенной комплексной системой диагностирования (рис. 2) $K_{б.д.} = \Pi_k / \Pi_u = 44/53 = 0,83$, что положительно характеризует предложенную систему (где Π_k – число контролируемых параметров изделия данного вида диагностирования, для измерения которых не требуются демонтно-монтажные работы; Π_u – общее число контролируемых параметров данного вида диагностирования).

Новизной разработанной блок-схемы комплексной системы является предложение оперативных проверок и объединение в систему показателей, характеризующих качество пиломатериалов, инструмента (рамные пилы), приспособлений (межпильные прокладки), механизмов лесопильной рамы и околорамных механизмов, требования к которым представлены широким спектром источников (ОСТ, ГОСТ и технической литературой).

При разработке систем диагностирования авторами предложен ряд методик (на большую часть которых получены патенты на изобретения), позволяющих оценить:

– качество пилопродукции, в частности продольную покоробленность и крыловатость – 6 методик, например [17];

– техническое состояние оборудования, в частности взаиморасположения частей механизма подачи – 7 методик, например [18].

Применение методик оперативного контроля позволит своевременно выявлять негативные тенденции в изменении качества пиломатериалов и предотвращать появление несоответствующей продукции путем проведения предупреждающих действий. Техническая диагностика предусматривает, в первую очередь, установление и изучение признаков, характеризующих наличие дефектов. В технической литературе по диагностированию, в основном, рассматриваются дефекты механизмов, узлов и устройств для предотвращения явных аварийных ситуаций или для прогнозирования возможных отклонений в режимах их работы путем внешнего осмотра или с использованием средств диагностирования.

Создание продукта, удовлетворяющего требованиям потребителя, возможно только тогда, когда все участники этого процесса (особенно производители) ясно представляют цели и пути повышения качества, активно и осознанно взаимодействуют в этом процессе на взаимовыгодных условиях. Этой обоюдной выгоде способствует применение принципов TQM (Total Quality Management – Всеобщее управление качеством) любой организацией, нацеленной на качество; подход, основанный на участии всех ее членов и направленный на достижение долгосрочного успеха через удовлетворение требований потребителя с выгодой для изготовителя и общества. Этому условию отвечает налаженная система оперативного контроля качества продукции и технического состояния машин и механизмов.

Выводы.

1. Опыт успешного производства экспортных ПМ на ЛР говорит о состоятельности экспертных оценок специалистов, принятых в качестве основы для установления взаимосвязи между дефектами ПМ и лесопильным оборудованием.

2. Организация объективного инструментального оперативного контроля качества ПМ позволит перейти от визуального выявления брака к объективной оценке появления негативных тенденций и предупреждению появления несоответствующей продукции, повышению качества и конкурентоспособности пиломатериалов.

3. Предложены алгоритм и схема (модель) комплексной системы диагностирования, позволяющие наглядно представить взаимосвязи данных о качестве сырья, пиломатериалов и технического состояния оборудования.

4. Проведенные авторами разработки по совершенствованию технических средств контроля позволяют повысить контролепригодность ПМ и ЛР.

Для внедрения диагностирования ПМ и ЛР необходимо завершить:

- установление диагностических признаков объектов ПМ и ЛР;
- разработку и усовершенствование методик (включая средства технического диагностирования), предусматривающих оперативный контроль качества ПМ и технического состояния ЛР с установлением причинно-следственных связей, позволяющих определить место и причины появления несоответствующей продукции и ухудшение состояния оборудования;
- формирование оперативной системы диагностирования с принятием решений в виде корректирующих и предупреждающих действий на основе объективной информации.

Список литературы

1. *Онегин, В.И.* Стратегические направления развития деревообрабатывающей промышленности России / В.И. Онегин, А.И. Чубинский // *Деревообрабатывающая промышленность*. – 2000. – № 5. – С. 2-5.
2. *Прокофьев, Г.Ф.* Пути повышения эффективности рамного пиления / Г.Ф. Прокофьев. – М.: ВНИПИЭИЛеспром, 1982. – 32 с.
3. *Виноградский, В.* Лесопильные рамы: есть ли у прошлого будущее / В. Виноградский, П. Ланца // *Дерево RU*. – 2004. – Март-апрель. – С 44-46.
4. ГОСТ 2140 – 81. Пороки древесины. Классификация. Термины и определения, способы измерения. – Введ.1970.01.01. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1981. – 45 с.
5. ГОСТ 10294 – 90. Рамы лесопильные вертикальные двухэтажные. Основные параметры. Нормы точности. – Введ. 1990-01-03. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1990. – 8 с.
6. ГОСТ 25338 – 82. Оборудование деревообрабатывающее. Испытания на точность. Общие требования. – Введ.1982.16.07. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1982. – 5 с.
7. *Боярский, М.В.* Анализ видов покоробленностей и способов их измерения / М.В.Боярский, О. Г. Тарасова // *Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование*. – 2010. – № 3. – С. 76-92.
8. *Боярский, М.В.* Пути повышения конкурентоспособности пиломатериалов / М. В. Боярский, О. Г. Тарасова // *Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование*. – 2009. – №3. – С.47-57.
9. *Тарасова, О.Г.* Исследование объектов технического регулирования в деревообработке / О.Г. Тарасова // *Сб. статей студентов, аспирантов, докторантов и ППС по итогам научно-техн. конф. МарГТУ*. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2009. – С.106-109.
10. *Тарасова, О.Г.* Лесопильное оборудование как объект диагностирования / Тарасова О.Г.; Марийский государственный технический университет. – Йошкар-Ола, 2011. – 14 с.: ил.-1, табл. -1. - Библиогр.: 18 назв. - Рус. - Деп. в ВИНТИ 4.03.2011, № 109-В 2011.
11. ГОСТ 26656 – 85. Техническая диагностика. Контролепригодность. Общие требования. – Введ.1987-01-01. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1985. – 14 с.
12. ГОСТ 20911 – 89. Техническая диагностика. Термины и определения. – Введ.1989-26-12. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1989. – 10 с.
13. ГОСТ 5524 – 75. Пилы для вертикальных лесопильных рам. – Введ.1975-20-02. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1975. – 8 с.
14. ОСТ 13-6-78. Прокладки межпильные для вертикальных лесопильных рам. – Введ.1978.01.01. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1978. – 18 с.
15. *Анисимов, Э.А.* Гармонический анализ кривизны досок / М.В. Боярский, Э.А. Анисимов, О.Г. Тарасова // *Материалы ежегодной региональной научно-практической конференции*. – Красноярск, 2005. – С.30-34.
16. *Тарасова, О.Г.* Мониторинг нормативной документации на двухэтажные лесопильные рамы / О.Г.Тарасова // *Сб. статей студентов, аспирантов, докторантов и ППС по итогам научно-техн. конф. МарГТУ*. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2008. – С.80-82.
17. Пат. 2361174 Российская Федерация, МПК G01B 5/28. Способ измерения продольной покоробленности (кривизны) отдельных обрезных досок / Боярский М.В, Тарасова О.Г.; заявитель и патентообладатель МарГТУ. – RU 2361174 С1; заявл. 25.03.2008; опубл.10.07.2009; Бюл. № 19. (0,31 / 0,16).
18. Пат. 2341368 РФ, МПК В 27В 27/00. Способ и устройство для проверки параллельности установочной линейки к оси переднего подающего вальца лесопильной рамы в горизонтальной плоскости / Боярский М.В, Тарасова О.Г.; заявитель и патентообладатель МарГТУ. – RU 2341368 С1; заявл. 02.05.2007; опубл.20.12.2008; Бюл. № 35. (0,31 / 0,16).

Статья поступила в редакцию 06.10.11.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» по ГК 2011-1.8-518-010-060.

M. V. Boyarsky, O. G. Tarasova

**SAW TIMBER AND SAWMILL EQUIPMENT DIAGNOSTICS
(on the basis of double-level saw frame)**

A scheme of complex testing system is elaborated. The scheme allows to perform operating quality control of raw materials, saw timber and technical condition of equipment for the enterprises to accept impartial managing decisions on the basis of analysis of information about the objects of diagnostics. An algorithm of saw timber and sawmill equipment in the quality of a base for profound examination of the main standard conditions of diagnostics in sawmilling is made.

Key words: *control model with the process of sawing, testing system, algorithm of diagnostics, saw frame (SF), saw timber (ST), controllability, technical state inspection, operating quality control.*

БОЯРСКИЙ Михаил Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры стандартизации, сертификации и товароведения МарГТУ. Область научных интересов – деревообработка, режущие инструменты. Автор более 80 публикаций.

E-mail: BoyarskijMV@marstu.net

ТАРАСОВА Ольга Германовна – доцент кафедры стандартизации, сертификации и товароведения МарГТУ. Область научных интересов – сертификация, стандартизация, разработка нормативной документации, исследование качества мебели и изделий из древесины, деревообработка. Автор более 45 публикаций.

E-mail TarasovaOG@marstu.net

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

УДК 577.13+576.535.2

Д. В. Кочкин, А. М. Носов

КИСЛЫЕ ЭФИРЫ ГИНЗЕНОЗИДОВ В СУСПЕНЗИОННОЙ КУЛЬТУРЕ КЛЕТОК *PANAX JAPONICUS VAR. REPENS*

Впервые с помощью ВЭЖХ-УФ-анализа показано накопление кислых нестабильных эфиров основных гинзенозидов в суспензионной культуре клеток *Panax japonicus var. repens*. На основании данных хроматографии доказано наличие малонил-гинзенозида Rb_1 в биомассе культуры клеток *in vitro* данного вида женьшеня.

Ключевые слова: культура клеток *in vitro*, ВЭЖХ, *Panax japonicus*, малонил-гинзенозиды, малонил-гинзенозид Rb_1 .

Введение. Более полувека прошло с момента открытия гинзенозидов – тритерпеновых гликозидов даммаранового ряда – основных биологически активных веществ женьшеня (род *Panax* L.). За это время достигнуты немалые успехи в изучении накопления этих соединений *in vivo* и *in vitro*. Так, из различных представителей рода выделены и охарактеризованы более 150 индивидуальных гинзенозидов, многие из которых являются либо минорными соединениями, либо нестабильными ацильными производными мажорных компонентов [1]. Более того, благодаря совершенствованию методов практической фитохимии существующие представления о композиционном составе нативных гликозидов женьшеня постоянно приходится пересматривать. Например, еще 20 лет назад в литературе бытовало мнение, что кислые эфиры основных гинзенозидов являются минорными компонентами гликозидной фракции корней женьшеня [2]. В настоящее время установлено, что более 50 % от суммы гинзенозидов в интактном корне *Panax ginseng* С. А. Меу. могут составлять нестабильные эфиры гинзенозидов (прежде всего Rb_1) с малоновой кислотой [3].

Несомненные успехи в изучении гинзенозидов в растениях женьшеня *in vivo* резко контрастируют с достижениями в исследовании этих природных соединений в культурах клеток *in vitro*. Особенно остро существующая асимметрия данных по химии женьшеня *in vivo* и *in vitro* проявляется в свете того, что многие виды рода *Panax* давно являются классическими объектами различного рода биотехнологий [4]. Подавляющее число работ, посвященных культурам клеток разных видов женьшеня, ограничиваются рассмотрением различных аспектов накопления в условиях *in vitro* только семи основных нейтральных гинзенозидов (на рис. 1 обозначены как Rg_1 , Re, Rf, Rb_1 , Rc, Rb_2 и Rd), коммерческие стандартные образцы которых легко доступны [5, 6].

Между тем, возможность формирования в различных системах клеток и тканей растений *in vitro* сложного паттерна гинзенозидов, весьма характерного для интактного растения женьшеня, остается обойденной вниманием исследователей. При этом следует заметить, вопрос об образовании минорных и нестабильных гинзенозидов в условиях стерильной культуры имеет не только фундаментальное, но и вполне конкретное практическое значение. Доказательством этому служат опубликованные в последнее десятилетие работы по молекулярной медицине женьшеня, основной вывод которых заключается в том, что многие уникальные терапевтические свойства этого растения определяются именно минорными и нестабильными гинзенозидами [7].

Цель настоящей работы заключалась в изучении возможности накопления в суспензионной культуре клеток *Panax japonicus* С. А. Меу. var. *repens* Maxim. ацилированных производных нейтральных гинзенозидов.

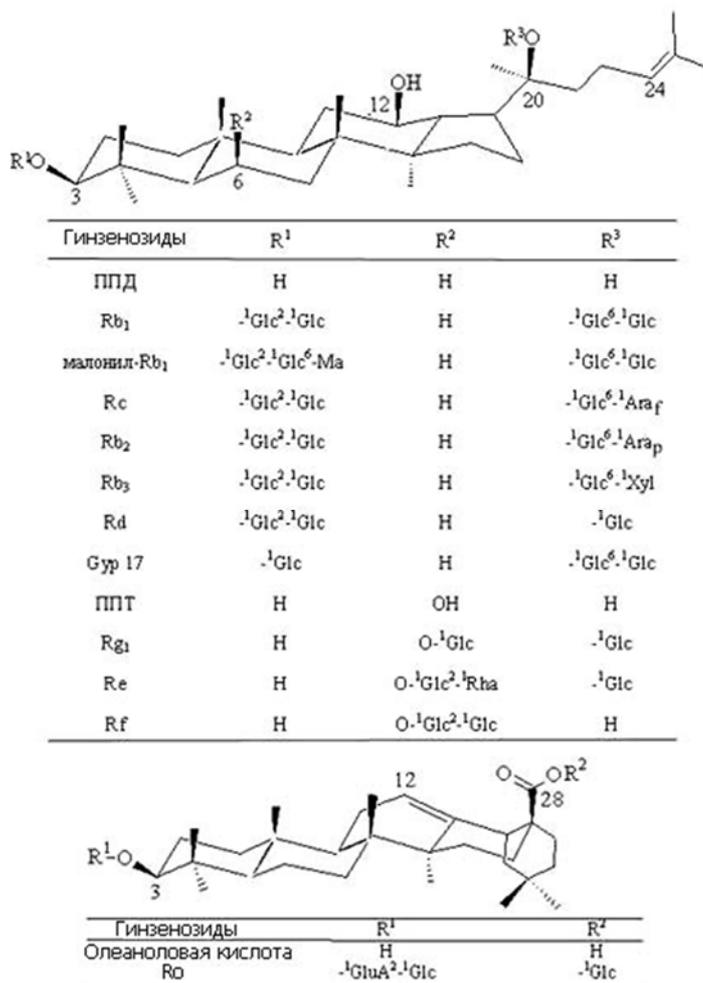


Рис. 1. Структурные формулы основных тритерпеновых гликозидов растений рода *Panax* L. ППД: 20(S)-протопанаксадиол; ППТ: 20(S)-протопанаксатриол; Glc: β -D-glucopyranosyl; Ara(f): α -D-arabinofuranosyl; Rha: α -L-rhamnopyranosyl; Xyl: β -D-xylopyranosyl; GluA: β -D-glucuronopyranosyl

Условия эксперимента. Объектом исследования служила суспензионная культура клеток *Panax japonicus* С. А. Меу. var. *repens* Maxim., зарегистрированная во Всероссийской коллекции культур клеток высших растений (РККК ВР) под № 62. Условия выращивания культуры описаны ранее [8]. Для хроматографического анализа использовали воздушно-сухую биомассу культуры на 21 сутки роста.

В качестве стандартных образцов использовали гинзенозиды Rg₁, Re, Rb₁, Rc, Rb₂, Rb₃ (Sigma, США) и R₀ (ТИБОХ ДВО РАН, Россия) и гипенозид XVII (Гур 17, получен в нашей лаборатории).

ВЭЖХ проводили на приборе Perkin Elmer Series 200 (PerkinElmer, США), укомплектованном вакуумным дегазатором, бинарным градиентным насосом, автоматическим инжектором и спектрофотометрическим детектором. Сбор и анализ данных проводили с помощью программы TotalChrom (PerkinElmer, США). Разделение гинзенозидов осуществляли на колонке Hypersil BDS C18 (250×4,6 мм, 5 мкм, Thermo Hypersil-Keystone Inc., США) при 25°C, скорости потока элюента 1 мл/мин и детектировании при длине волны 207 нм. Элюирование аналитов с колонки осуществляли в градиентном режиме смесью ацетонитрил – вода с добавлением различных модификаторов (КН₂РO₄, Н₃РO₄). Состав подвижной фазы (ацетонитрил, % по объему) менялся в соответствии со следующими условиями:

система 1 – 0 мин 15 %, 5 мин 18 %, 17 мин 21 %, 32 мин 27 %, 57 мин 37 %, 64 мин 45 %, 69 мин 55 %, 71 мин 90 %, 76 мин 90 %;

система 2 – 0 мин 28 %, 2,5 мин 29 %, 13,5 мин 34 %, 24,5 мин 39 %, 29,5 мин 43 %, 30 мин 90 %, 32,5 мин 90 %.

Наличие нестабильных эфиров гинзенозидов определяли с помощью обработки щелочью спиртового экстракта биомассы клеток с известным профилем ВЭЖХ. Использовали 5 мМ раствор КОН в этаноле, обработку проводили в течение 10 мин при комнатной температуре. После завершения омыления раствор нейтрализовали ледяной уксусной кислотой (контроль рН по универсальной индикаторной бумаге, Реахим, Россия) и использовали для ВЭЖХ.

Подготовка проб для анализа. 20 мг воздушно-сухой биомассы культуры клеток экстрагировали смесью метанол : вода (95:5 по объему) в течение 30 мин под действием ультразвука (УЗВ УХ 3560, GXET LTD, КНР) при комнатной температуре. Затем полученный экстракт центрифугировали 6 мин при 3900 g (Микроцентрифуга МЦФ, Россия). Супернатант фильтровали через нейлоновой фильтр с порами 0,2 мкм (Acrodisc, Германия). Полученную пробу использовали для ВЭЖХ.

Смесь кислых гинзенозидов получали путем грубого фракционирования спиртового экстракта биомассы культуры клеток. Для этого 10 г спиртового экстракта, полученного по общепринятой методике [9] из 500 г биомассы, растворяли в минимальном объеме воды и наносили на колонку, содержащую 150 г крупнопористого сорбента Extrelut (Merck, Германия). Для извлечения неполярных и слабополярных нейтральных гинзенозидов колонку промывали 300 мл н-бутанола. Оставшиеся на колонке полярные (в том числе кислые) соединения смывали 250 мл этанола. Полученную фракцию упаривали под вакуумом при 40°C и использовали для хроматографического анализа.

Результаты и обсуждение. ВЭЖХ-профиль спиртового экстракта из биомассы культуры клеток *Panax japonicus* var. *repens*, полученный при элюировании подвижной фазой с нейтральным рН (ацетонитрил – вода), представлен на рис.2. Сопоставление времен удерживания обнаруженных на хроматограмме пиков и доступных стандартных образцов гинзенозидов позволило заключить, что в спиртовом экстракте биомассы *P. japonicus* присутствуют девять основных нейтральных гинзенозидов (Re, Rg₁, Rf, Rb₁, Rc, Rb₂, Rb₃, Rd и Гур XVII). Кроме того, среди компонентов хроматографического паттерна также обнаруживались четыре сильно уширенных и плохо разрешенных пика, максимумы которых были зафиксированы на 28,4; 34,9; 35,7 и 40,0 минутах анализа (на рис. 2 обозначены как М 1, М2, М3 и М 4, соответственно).

Элюирование подвижной фазой, составленной из ацетонитрила и 8 мМ водного раствора КН₂РO₄ (рН 4,82), позволило придать данным пикам симметричную форму и добиться их удовлетворительного разрешения (рис. 3, I). Кроме того, использование в качестве модификатора подвижной фазы 8 мМ раствора фосфорной кислоты (рН 2,11) привело к существенному изменению хроматографической картины (рис. 3, II). В данных условиях

наблюдали исчезновение описанных пиков из обычной области их элюирования слабокислым растворителем (12-20 мин, система 2) и одновременное увеличение количества пиков, выходящих из колонки после гинзенозида Rb₁ (21,5-31 мин, система 2).

Описанные факты свидетельствуют, что пики M1–M4 соответствуют соединениям, сродство которых к стационарной обращенной фазе существенно зависит от кислотности подвижной фазы. Согласно опубликованным в периодической печати данным, среди всего многообразия гликозидов женьшеня только две группы соединений характеризуются подобным хроматографическим поведением [10]. Оба этих структурных класса обычно характеризуют как «кислые» гинзенозиды («acidic» ginsenosides). В соответствии с расположением карбоксильной группы в той или иной части молекулы среди кислых гинзенозидов выделяют:

1) гликозиды олеаноловой кислоты со свободной карбоксильной группой агликона и/или глюкуроновой кислоты;

2) сложноеэфирные конъюгаты нейтральных гинзенозидов с двухосновной малоновой кислотой.

Сопоставление хроматографической подвижности соединения M1 и стандарта гинзенозида R₀, имеющего свободную карбоксильную группу в остатке глюкуроновой кислоты, показало, что данные соединения идентичны. Кроме того, порядок элюирования соединений M2–M4 позволяет, опираясь на данные литературы [11, 12], высказать предположение о том, что эти пики соответствуют малонильным эфирам гинзенозидов Rb₁, R_c и R_d.

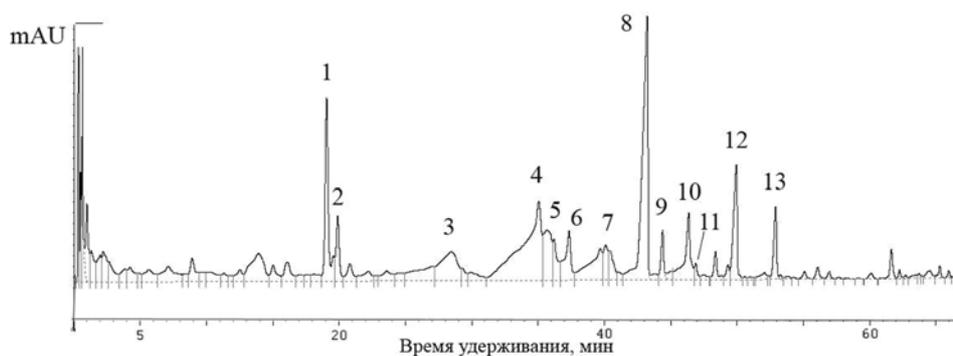


Рис. 2. ВЭЖХ-профиль спиртового экстракта биомассы *P. japonicus* var. *repens*, подвижная фаза с нейтральным pH, система 1. Обозначение пиков: (1) Rg₁, (2) Re, (3) M1, (4) M2, (5) M3, (6) Rf, (7) M4, (8) Rb₁, (9) R_c, (10) Rb₂, (11) Rb₃, (12) R_d, (13) Гур XVII

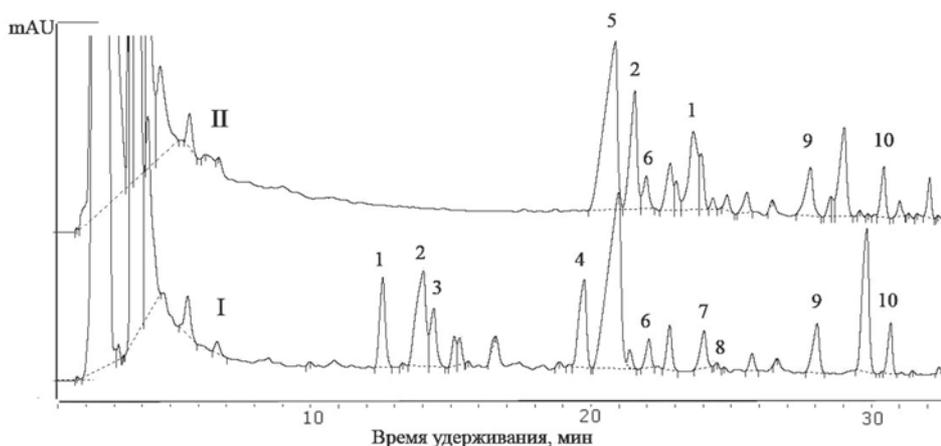


Рис. 3. ВЭЖХ-профиль спиртового экстракта биомассы *P. japonicus* var. *repens*, подвижная фаза с pH 4,8 (I) и 2,1 (II), система 2. Обозначение пиков: (1) M1, (2) M2, (3) M3, (4) M4, (5) Rb₁, (6) R_c, (7) Rb₂, (8) Rb₃, (9) R_d, (10) Гур XVII

В ряде публикаций для обнаружения в экстрактах различных образцов женьшеня ацильных производных гинзенозидов был предложен косвенный метод [10], основанный на крайней нестабильности данных соединений, чувствительных к любым экстремальным воздействиям (умеренное нагревание или мягкий щелочной гидролиз).

В наших экспериментах по обработке спиртового экстракта биомассы *P. japonicus* раствором щелочи было показано исчезновение из ВЭЖХ-профиля соединений M2–M4, в то же время наблюдалось увеличение площадей пиков гинзенозидов Rb₁, Rc и Rd. Эти результаты можно рассматривать в качестве косвенных доказательств того, что пики M2–M4 соответствуют восприимчивым к нуклеофильной атаке конъюгатам нейтральных гинзенозидов. А это, в свою очередь, подтверждает высказанное ранее предположение.

Более точное подтверждение принадлежности данных ацильных производных к тем или иным нейтральным гинзенозидам предполагает их получение в индивидуальном виде. Однако среди компонентов M2–M4 только M2 содержался в биомассе в количествах, достаточных для препаративного выделения. Существенные различия полярности нейтральных и кислых гинзенозидов определяют особенности их распределения в гетерогенных системах, таких как несмешивающиеся органический растворитель и вода. Использование этого свойства гликозидов дало возможность с помощью системы *n*-бутанол – вода получить из суммы гликозидов культуры клеток *P. japonicus* фракцию, обогащенную кислыми гликозидами, ВЭЖХ-профиль которой приведен на рис. 4, I.

Представленная хроматограмма свидетельствует, что из исходной смеси гинзенозидов в данной фракции присутствовали только гинзенозид R₀ и компоненты M2 и M3, причем M2 являлся мажорным компонентом. Мягкий щелочной гидролиз данной фракции (рис. 4, II) приводил к образованию в качестве основного продукта соединения, идентичного по удерживанию стандарту гинзенозида Rb₁.

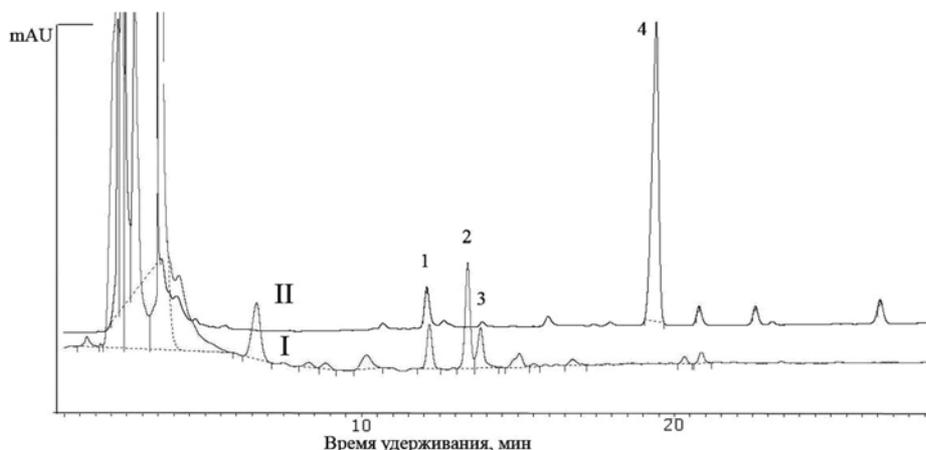


Рис. 4. ВЭЖХ-профиль фракции кислых гликозидов из биомассы *P. japonicus* var. *repens*, до (I) и после (II) обработки спиртовым раствором щелочи, подвижная фаза с pH 4,8, система 2.
Обозначение пиков: (1) R₀, (2) M2, (3) M3, (4) Rb₁

Выводы. Изложенные результаты показывают, что компонент M1 является кислым производным гинзенозида Rb₁, который легко разрушается в щелочных условиях. В настоящее время в природе известно только одно соединение, соответствующее этому описанию – малонильный эфир гинзенозида Rb₁ [1].

В заключение следует заметить, что сообщений о возможности образования малонильных эфиров гинзенозидов в культуре клеток *in vitro* в открытой печати не обнаружено. Таким образом, впервые с помощью ВЭЖХ-УФ-анализа показано накопление кислых нестабильных эфиров основных гинзенозидов в суспензионной культуре клеток *Panax japonicus*. При этом, на основе данных хроматографии и масс-спектрометрии высокого разрешения доказано наличие малонил-гинзенозида Rb₁ в биомассе культуры клеток *in vitro* данного вида женьшеня.

Список литературы

1. Christensen, L.P. Ginsenosides chemistry, biosynthesis, analysis, and potential health effects / L.P. Christensen // Adv. Food Nutr. Res. – 2008. – V. 55. – P. 1–99.
2. Court, W.E. The principal active chemicals in *Panax* species / W.E. Court // Ginseng: The Genus *Panax*. [ed Court W.E.]. – New York : Harwood Academic Publishers, 2000. – P. 551–16.
3. Kite, G.C. Liquid chromatography/mass spectrometry of malonyl-ginsenosides in the authentication of ginseng / G.C. Kite, M.-J.R. Howes, C.J. Leon, M.S.J. Simmonds // Rapid Commun. Mass Spectrom. – 2003. – V. 17. – P. 238–244.
4. Wu, J. Production of ginseng and its bioactive components in plant cell culture: Current technological and applied aspects / J.Wu, J.J. Zhong // J. Biotechnol. – 1999. – V. 68. – P. 89–99.
5. Решетняк, О.В. Изменение состава и соотношения гинзенозидов в биомассе каллусной и суспензионной культуры клеток *Panax japonicus* var. *repens* / О.В. Решетняк, И.Е. Князьков, И.Н. Смоленская и др. // Биотехнология. – 2003. – № 2. – С. 69–75.
6. Kochan, E. Dynamics of ginsenoside biosynthesis in suspension culture of *Panax quinquefolium* / E. Kochan, A. Chmiel // Acta Physiol. Plant. – 2011. – V. 33. – P. 911–915.
7. Leung, K.W. Pharmacology of ginsenosides: a literature review / Leung, K.W., Wong A.S.T. // Chin. Med. – 2010. – V. 5. – P. 20.
8. Смоленская, И.Н. Суспензионная культура клеток *Panax japonicus* var. *repens* 1. Параметры роста и цитогенетические характеристики / И.Н. Смоленская, С.Э. Заринянец, Ю.Н. Смирнова, и др. // Биотехнология. – 2005. – № 5. – С. 21–28.
9. Qi, L.-W. Isolation and analysis of ginseng: advances and challenges / L.-W. Qi, Wang, C.-Z., Yuan, C.-S. // Nat. Prod. Rep. – 2011. – V. 28. – P. 467–495.
10. Fuzzati, N. Analysis methods of ginsenosides / N. Fuzzati // Journal of Chromatography B. – 2004. – V. 812. – P. 119–133.
11. Hu, P. The retention behavior of ginsenosides in HPLC and its application to quality assessment of radix ginseng / P. Hu, G.-A. Luo, Q. Wang, Z.-Z. Zhao, W. Wang, Z.-H. Jiang // Arch Pharm. Res. – 2008. – V. 31. – P. 1265–1273.
12. Li, S.-L. Decocting-induced chemical transformations and global quality of Du–Shen–Tang, the decoction of ginseng evaluated by UPLC–Q-TOF-MS/MS based chemical profiling approach / S.-L. Li, S.-F. Lai, J.-Z. Song, C.-F. Qiao, X. Liu, Y.Z.H. Cai, B.-C. Cai, H.-X. Xu // Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. – 2010. – V. 53. – P. 946–957.

Статья поступила в редакцию 15.10.11.

Работа выполнена 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.) и Межгосударственной целевой программы ЕвразЭС «Инновационные биотехнологии» (государственный контракт № 16.M04.12.0003) с использованием оборудования ЦКП «ЭБЭЭ» ФГБОУ ВПО «МарГТУ».

D. V. Kochkin, A. M. Nosov

**GINSENOIDES ACIS ESTERS IN SUSPENSION CULTURE
OF *PANAX JAPONICUS* VAR. *REPENS* CELLS**

*Accumulation of acid unstable esters of the basic ginsenosides in suspension culture of *Panax japonicus* var. *Repens* cells is for the first time shown with the help of HPLC-hydrocarbon-analysis. On the basis of chromatography data malonyl- ginsenoside Rb₁ presence in the biomass of cell culture in vitro of this kind of ginseng is proven.*

Key words: cell culture in vitro, HPLC, *Panax japonicas*, malonyl- ginsenosides, malonyl- ginsenoside Rb₁.

КОЧКИН Дмитрий Владимирович – научный сотрудник кафедры физиологии растений биологического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова. Область научных интересов – физиология растений.

E-mail: info@mail.bio.msu.ru

НОСОВ Александр Михайлович – доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии растений МГУ им. Ломоносова, зав. отделом биологии клетки и биотехнологии Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН. Область научных интересов – биотехнология. Автор более 100 публикаций.

E-mail: amn@ippras.ru

УДК 635.9-18:57.083.224

*Е. М. Романов, Д. И. Мухортов,
А. Д. Сердин, Р. В. Сергеев, А. И. Шургин*

ВЫРАЩИВАНИЕ ДЕКОРАТИВНЫХ ЦВЕТОЧНЫХ РАСТЕНИЙ В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO* С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУБСТРАТОВ ИЗ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

Показано, что на питательной среде MS, содержащей 2 мг/л 6-БАП и 0,2 мг/л НУК, при культивировании экплантов сортов роз «Магия», «Татьяна» и «Rosalinde» коэффициент размножения составил 5,0; 4,1 и 4,0 соответственно. Наилучшее влияние на рост и развитие этих сортов роз оказали компостные смеси № 1 и № 3. Введение биоактиватора «Бамил» в компостную смесь положительно сказалось на росте розы «Мейров». В сравнении с торфяными таблетками, наилучшее влияние на рост и развитие роз «Мейров» оказали компостные смеси с размером частиц 1 – 3 и 3 – 5 мм.

Ключевые слова: *размножение in vitro, роза гибридная, органические отходы, питательный субстрат.*

Введение. Согласно новой доктрине безопасности России, утверждённой президентом Д. А. Медведевым [1], необходимо поэтапное снижение зависимости отечественного агропромышленного и других комплексов от импорта технологий, машин, оборудования и других ресурсов. По материалам исследований Discovery Research Group, объем российского рынка цветов в 2006 году составил 1,3 - 1,5 млрд. долларов, а темпы роста, по оценкам ряда экспертов, составляют в среднем 25 % в год. Доля импортной продукции на российском рынке цветов составляет 90 %. Основным поставщиком цветов в Россию является Голландия, на которую приходится 60 % импортных поставок срезанных цветов, 50 % – цветов в горшках, 90 % – посадочного материала. Из года в год импорт из этой страны увеличивается [2]. Импорт декоративных растений сопровождается ввозом сопутствующих товаров, таких как питательные субстраты, почвогрунты, удобрения и др. Подобная проблема возникла в связи с утратой российских конкурирующих предприятий. Выходом из сложившейся ситуации является развитие отечественных технологий, позволяющих в достаточном количестве снабжать российский рынок цветочной продукцией и всеми необходимыми сопутствующими товарами.

В настоящее время размножение растений в больших количествах позволяет технология микроклонального размножения, однако последующее укоренение микропобегов и их адаптация к почвенным условиям являются наиболее трудоемкими этапами, от которых зависит успех всей работы [3], поэтому с целью увеличения выхода посадочного материала при размножении растений в культуре *in vitro* необходим поиск новых питательных субстратов с учетом потребностей различных видов цветочных растений.

В садоводстве важное значение имеет раздел, связанный с разработкой и внедрением новых экономически эффективных методов размножения ценных сортов декоративных растений. Одним из таких способов является получение корнесобственных саженцев путем микроклонального размножения [4]. Данный метод позволяет повысить коэффициент размножения и освобождает растения от вирусных болезней. На сегодняшний день при помощи культуры ткани *in vitro* успешно размножают многие сорта роз [5].

Целью работы являлось изучение особенностей размножения 11 генотипов гибридных роз в культуре *in vitro* и последующей адаптации данных растений к почвенным условиям с использованием различных питательных субстратов.

Объекты и методика. Работа в асептических условиях и стерилизация питательных сред проводилась согласно рекомендациям по культуре растительной ткани [6]. Побеги отобранных генотипов гибридных роз стерилизовали трехпроцентным раствором Лизоформина 3000 в течение 7 минут. После стерилизации экспланты отмывали по три раза в 100 мл стерильной дистиллированной воды. При этом было получено в среднем 90 % стерильных морфогенных эксплантов. Поверхностно стерилизованные побеги рассаживали раздельно в центрифужные пробирки с 2 – 3 мл среды MS [7]. Концентрация сахарозы 3 %, агар-агара 0,6 %. После трёх недель культивирования незараженные экспланты пересаживали на свежую питательную среду экспериментального состава. В ходе исследования была проведена оценка влияния трёх концентраций 6-БАП (0,5 мг/л; 1,0 мг/л и 2,0 мг/л) на интенсивность морфогенеза 10 сортов гибридных роз в культуре *in vitro*. Основная среда MS была дополнена 0,2 мг/л НУК. Культивирование проводили при 21–22 °С, освещенности 1800 Люкс, фотопериоде 16/8. Было заложено по 10 эксплантов на вариант, повторность трёхкратная.

На этапе размножения было установлено, что увеличение концентрации 6-БАП способствует увеличению числа вновь формирующихся побегов. Для сортов «Магия», «Orange Jewell», «Europeana», «Red minimi», «Татьяна», «Rosalinde» оптимальное соотношение фитогормонов в среде культивирования составило 2 мг/л 6-БАП и 0,2 мг/л НУК. При этом образовывались хорошо сформированные одинаковые по размеру и цвету побеги. В то же время при соотношении в среде культивирования фитогормонов 1 мг/л 6-БАП и 0,2 мг/л НУК гибридные розы сортов «Cristian Dior», «Бинго», «Илона», «Europeana» формировали побегов достоверно больше, чем на других исследованных средах. В ходе эксперимента не было отмечено образование витрифицированных побегов. Максимальный коэффициент размножения, достигнутый на этапе мультипликации, составил 5,0 побегов у сорта «Магия» при концентрации 6-БАП 2,0 мг/л (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Коэффициент размножения различных сортов роз в зависимости от концентрации БАП

Сорта розы гибридной	Коэффициент размножения при различной концентрации БАП		
	0,5мг/л	1мг/л	2 мг/л
«Магия»	3,7	4,2	5,0
«Orange Jewell»	1,2	2,2	3,3
«Мейров»	1,4	1,6	3,7
«Red minimi»	1,0	1,8	3,2
«Татьяна»	2,8	3,1	4,1
«Rosalinde»	1,7	1,9	4,0
«Cristian Dior»	1,6	3,1	1,6
«Бинго»	2,8	3,5	2,7
«Илона»	1,2	2,9	1,7
«Europeana»	1,4	4,3	2,2
«Крымчанка»	2,7	3,2	3,8

Когда экспланты достигали в высоту 15 – 20 мм, конгломераты побегов разделяли и пересаживали на среду для укоренения. Спустя три недели на побегах формировались корни в среднем 23 мм длиной, после чего растения *in vitro* адаптировали к условиям окружающей среды.

В настоящее время для пересадки и дорастивания растений при микроклональном размножении применяются торфоперегнойные таблетки, изготавливаемые в основном зарубежными фирмами. Основой таких таблеток является верховой торф и кокосовая стружка. В

работе были исследованы таблетки таких фирм-производителей, как «Jiffy», «Cocoland» и кокосовый мат фирмы «Hydrophonic slaB».

В процессе выполнения работ были исследованы основные физико-механические свойства торфоперегнойных таблеток фирм «Jiffy», «Cocoland» и кокосового мата фирмы «Hydrophonic slaB» (табл. 2).

Таблица 2

Физико-механические свойства традиционных субстратов, применяемых для микроклонального размножения растений

Фирма-производитель субстрата	Линейные размеры, мм		Объем, см ³	Массовая доля воды, %	Удельная масса	Плотность сложения рассыпного образца
	диаметр	толщина				
в сухом состоянии						
«Jiffy»	29,6	7,4	5,1	8,2	1,6	0,20
«Cocoland»	36,4	12,0	12,5	8,1	2,3	0,06
«Hydrophonic slaB»	1000×185×30		5550	9,8	3,5	0,15
после намачивания						
«Jiffy»	43,7	33,7	50,6	-	1,6	0,07
«Cocoland»	рассыпаются		110,0	-	2,3	0,06
«Hydrophonic slaB»			-	-	3,5	0,06

Установлено, что все субстраты имеют небольшой удельный вес и плотность сложения, высокую влагоемкость. По этой причине при намачивании субстраты значительно увеличиваются в объеме, а их плотность сложения снижается. Наиболее удобными для доращивания растений, полученных по технологии *in vitro*, по физико-механическим свойствам являются таблетки фирмы «Jiffy». Это связано еще и с тем, что данные таблетки имеют сетчатую оболочку, предотвращающую субстрат от рассыпания при намачивании, и при их использовании не нужны специальные контейнеры.

Традиционные субстраты были обследованы на агрохимические показатели (табл. 3). Обследование выполнялось по стандартным методикам: органическое вещество – по ГОСТ 27980 [8] (термогравиметрическим методом), кислотность – по ГОСТ 27979 [9], нитратный азот – потенциометрическим методом с помощью ионоселективного электрода «ЭКОМ-NO₃».

Таблица 3

Агрохимические свойства традиционных субстратов, применяемых для доращивания растений, полученных в культуре *in vitro*

Фирма-производитель субстрата	Органическое вещество, %	Кислотность (pH _{сол.})	Нитратный азот, мг/100 г
«Jiffy»	46,91	4,96	2,98
«Cocoland»	47,65	4,59	0,57
«Hydrophonic slaB»	46,65	4,94	0,55

Как показали результаты исследований, традиционные субстраты, используемые для доращивания растений, полученных при микроклональном размножении, характеризуются высоким содержанием органического вещества, кислой реакцией солевого раствора и низким содержанием нитратного азота.

С целью получения различных видов субстратов органические отходы смешали и заложили на компостирование в аэробных условиях. Всего было составлено три смеси на основе осадков сточных вод (ОСВ) очистных сооружений канализации (ОСК) г. Йошкар-Олы с различным составом и соотношением компонентов:

смесь № 1 – ОСВ ОСК г. Йошкар-Олы и хвойные опилки, соотношение компонентов 6,8:1 по массе сухого вещества;

смесь № 2 – ОСВ ОСК г. Йошкар-Олы и лиственные опилки, соотношение компонентов 20,6:1 по массе сухого вещества;

смесь № 3 – ОСВ ОСК г. Йошкар-Олы и смесь хвойных и лиственных опилок, соотношение компонентов 1,4:1 по массе сухого вещества.

Соотношение компонентов у смеси № 1 и смеси № 2 рассчитывали исходя из оптимального для протекания процесса компостирования отношения углерода к азоту (25:1), а у смеси № 3 – по оптимальной влажности смеси – 65 %. Компостирование подготовленных смесей проводили в течение 24 месяцев. За данный период аэробной переработки для пополнения запасов кислорода было выполнено две перебуртовки смесей.

Исследование агрохимических параметров полученных компостов показало, что за два года аэробной обработки компостных смесей в меньшей степени подвергаются разложению органического вещества субстраты, включающие хвойные опилки (табл. 4). По этой причине содержание подвижных элементов минерального питания растений в компосте из ОСВ и хвойных опилок ниже, чем в компосте из ОСВ и лиственных опилок.

Т а б л и ц а 4

Агрохимическая характеристика компостов на основе опилок и осадков сточных вод ОСК г. Йошкар-Олы (данные 2007 года)

№ смеси	Соотношение компонентов (ОСВ:опилки)	Органическое вещество, %	pH _{кол.}	Содержание, мг/100г			
				Азота		Фосфора P ₂ O ₅	Калия K ₂ O
				NH ₄	NO ₃		
1	6,8:1	43,8	6,0	2,0	8,6	12,8	36,4
2	20,6:1	29,2	6,4	1,9	108,2	36,8	45,8
3	1,4:1	44,7	6,4	0,7	156,8	32,0	53,3

Таким образом, для изучения возможности использования нетрадиционных субстратов для дорастивания растений, полученных при микроклональном размножении, были взяты шесть видов компоста:

компост № 1 – на основе смеси осадков ОСВ ОСК г. Йошкар-Олы и хвойных опилок (соотношение компонентов 6,8:1 по массе сухого вещества), сроком компостирования 24 месяца и сроком хранения 33 месяца в буртах;

компост № 2 – на основе смеси ОСВ ОСК г. Йошкар-Олы и лиственных опилок (соотношение компонентов 20,6:1 по массе сухого вещества), сроком компостирования 24 месяца и сроком хранения 33 месяца в буртах;

компост № 3 на основе смеси ОСВ ОСК г. Йошкар-Олы и смеси хвойных и лиственных опилок (соотношение компонентов 1,4:1 по массе сухого вещества), сроком компостирования 24 месяца и сроком хранения 33 месяца в буртах;

компост № 4 – на основе смеси ОСВ ОСК г. Йошкар-Олы и смеси хвойных и лиственных опилок (соотношение компонентов 1,4:1 по массе сухого вещества), сроком компостирования 24 месяца в буртах;

компост № 5 – на основе смеси ОСВ ОСК г. Йошкар-Олы и смеси хвойных и лиственных опилок (соотношение компонентов 1,4:1 по массе сухого вещества), сроком компостирования 24 месяца в емкостях объемом 3 м³;

компост № 6 – на основе смеси ОСВ ОСК г. Йошкар-Олы и смеси хвойных и лиственных опилок (соотношение компонентов 1,4:1 по массе сухого вещества) с введением биоактиватора «Бамил», сроком компостирования 24 месяца в емкостях объемом 3 м³.

Отобранные компосты были просеяны через сита с размером отверстий 7 мм и простерилизованы паром под давлением 1,5 атм. с использованием стерилизатора парового ГК-100-2.

Результаты и обсуждение. На основании проведенных исследований по оценке возможности традиционного размножения растений (из семени) на нетрадиционных субстратах и данных, полученных при испытаниях, сделан вывод о возможности применения таких субстратов для закладки экспериментов с использованием растений, размноженных в культуре *in vitro*. Для подтверждения этого вывода на базе лаборатории микрклонального размножения растений ЦКП «ЭБЭЭ» ГОУ ВПО «МарГТУ» 14 апреля 2010 года был заложен эксперимент с высадкой эксплантов роз сортов «Мейров» и «Крымчанка» во все испытываемые нетрадиционные субстраты. В качестве контрольных вариантов использованы торфоперегнойные субстраты фирм «Jiffy» и «Hydroponic slaB». В процессе эксперимента оценивались различные показатели: приживаемость, высота растений, длина корней, диаметр корневой шейки у роз, вес биомассы растений.

Для оценки пригодности традиционно используемых субстратов для дорастивания растений, полученных при микрклональном размножении, было проведено их испытание при дорастивании роз сортов «Мейров» и «Крымчанка» (табл. 5).

Таблица 5

Приживаемость и рост саженцев розы, полученных при микрклональном размножении, на субстратах различных фирм-производителей

Сорт розы	Фирма-производитель субстрата	Приживаемость, %	Высота, см
«Мейров»	«Jiffy»	80	4,53
	«Hydroponic slaB»	10	0,63
		$t_{\text{факт.}}: t_{\text{табл}}$	5,52 > 2,26
«Крымчанка»	«Jiffy-7»	64	7,23
	«Hydroponic slaB»	21	2,27
		$t_{\text{факт.}}: t_{\text{табл}}$	6,59 > 2,26

Установлено, что лучшие результаты из серийно выпускаемых субстратов различных фирм-производителей показали таблетки фирмы «Jiffy». Приживаемость и высота пересаженных роз была существенно на пятипроцентном уровне значимости выше ($t_{\text{факт.}} > t_{\text{табл.}}$), чем при использовании субстрата фирмы «Hydroponic slaB», поэтому при испытании нетрадиционных субстратов из органических отходов во всех сериях испытаний в качестве контрольного варианта был взят субстрат фирмы «Jiffy».

При изучении влияния субстратов с различным исходным составом на рост и развитие растений, полученных в культуре *in vitro*, были испытаны компосты № 1, № 2 и № 3. В подготовленные субстраты высаживались розы «Мейров», полученные при микрклональном размножении. После выращивания на испытываемых субстратах растения были извлечены, отмыты и измерены. В ходе измерений роз «Мейров» устанавливались высота надземной части, диаметр корневой шейки, длина корневой системы и процент приживаемости растений (табл. 6).

Таблица 6

Влияние рецепта компостной смеси на линейные показатели роз «Мейров», размноженных в культуре *in vitro*

№ компоста	Расчет рецепта компостной смеси	Виды наполнителя	Высота, см	Диаметр корневой шейки, мм	Длина корней, см	Приживаемость, %
1	по отношению C:N	хвойные опилки	6,5±1,00	0,25±0,03	8,8±0,40	20
2		лиственные опилки	3,0±0,54	0,15±0,04	4,9±1,27	40
3	по исходной влажности	смесь хвойных и лиственных опилок	7,0±1,38	0,12±0,01	9,5±0,65*	40
Контроль (субстрат «Jiffy»)			4,5±0,68	0,15±0,01	5,6±0,45	80

* различие с контролем на пятипроцентном уровне значимости существенно ($t_{\text{факт.}} > t_{\text{табл.}}$)

Достоверных различий по высоте и диаметру корневой шейки роз «Мейров» при доращивании на компостах с различной рецептурой по сравнению с традиционно применяемым субстратом «Jiffy-7» не выявлено. Наилучшее влияние на рост корней роз оказала компостная смесь № 3. Доказано на пятипроцентном уровне значимости, что длина корней роз, выращенных с использованием компостной смеси № 3, превышает длину корней растений, выращенных на торфяных таблетках «Jiffy-7», в 1,7 раза.

В ходе испытания субстратов, различающихся рецептом приготовления компостных смесей, проводилось измерение биомассы различных органов роз «Мейров» (табл. 7).

Т а б л и ц а 7

Влияние рецепта компостной смеси на биомассу роз «Мейров», размноженных в культуре *in vitro*

№ компоста	Расчет рецепта компостной смеси	Виды наполнителя	Биомасса в пересчете на 100 растений, г			
			листьев	стеблей	корней	общая
1	по отношению C:N	хвойные опилки	10,54	2,69	2,49	15,71
2		лиственные опилки	1,83	0,80	0,22	2,85
3	по исходной влажности	смесь хвойных и лиственных опилок	9,33	2,43	2,37	14,13
Контроль (субстрат «Jiffy»)			4,20	3,60	1,81	9,61

Установлено, что наилучшее влияние на образование биомассы у роз, в сравнении с торфяными таблетками, оказали компостные смеси № 1 и № 3. Общий вес биомассы растений превосходил контрольные показатели в 1,6 и 1,5 раза соответственно. Образованию наибольшей массы корней способствуют компостные смеси № 1 и № 3 и превосходят контрольные значения в 1,4 и 1,3 раза соответственно. Образованию наибольшей массы листьев способствуют компостные смеси № 1 и № 3 и превосходят контрольные значения в 2,4 и 2,2 раза соответственно.

Возможность хранения компостов из органических отходов является важным параметром качества получаемой продукции. Для испытания субстратов путем выращивания декоративных растений, полученных при микроклональном размножении, были взяты следующие виды компостов из органических отходов с различным сроком хранения:

компост № 3 на основе смеси ОСВ ОСК г. Йошкар-Олы и смеси хвойных и лиственных опилок (соотношение компонентов 1,4:1 по массе сухого вещества), сроком компостирования 24 месяца и сроком хранения 33 месяца в буртах;

компост № 4 – на основе смеси ОСВ ОСК г. Йошкар-Олы и смеси хвойных и лиственных опилок (соотношение компонентов 1,4:1 по массе сухого вещества), сроком компостирования 24 месяца в буртах.

Испытания проводились путем доращивания хризантем и роз сорта «Крымчанка», полученных при микроклональном размножении с установлением таких параметров, как их приживаемость, линейные размеры и биомасса.

При выполнении анализа установлено, что срок хранения компостной смеси не оказывает никакого влияния на приживаемость хризантем, но оказывает влияние на приживаемость роз. В сравнении с торфяными таблетками «Jiffy-7» приживаемость хризантем при использовании компостов выше на 15 %, а роз, выращенных на компосте со сроком хранения 33 месяца, выше на 29 %, на компосте без длительного хранения – выше на 79 %. Как показали исследования, срок хранения компостной смеси не оказывает существенного влияния на высоту и диаметр корневой шейки роз (табл. 8).

Т а б л и ц а 8

**Влияние сроков хранения компостных смесей на биометрические показатели роз «Крымчанка»,
размноженных в культуре *in vitro***

№ компо-ста	Срок хранения, мес.	X _{ср.} ± m _x			Биомасса 100 растений, г				Приживаемость, %
		Высо-та, см	Диаметр корневой шейки, см	Длина корней, см	листьев	стеблей	корней	общая	
3	33	5,2± 2,150	0,14± 0,040	4,5±2,500	4,50	1,74	1,37	7,60	50
4	0	5,4± 0,200	0,16± 0,015	8,9±0,0001 *	7,59	2,00	1,58	11,17	100
Контроль (субстрат «Jiffy-7»)		7,2± 0,732	0,17± 0,012	3,7±0,238	3,75	3,25	1,76	8,75	21

* различие с контролем на пятипроцентном уровне значимости существенно ($t_{\text{факт.}} > t_{\text{табл.}}$).

Использование компостной смеси без длительного срока хранения оказывает существенное достоверное на пятипроцентном уровне значимости влияние на длину корней роз. В сравнении с торфяными таблетками показатель выше в 2,4 раза.

Наилучшее влияние на образование биомассы у роз, в сравнении с торфяными таблетками, оказала компостная смесь № 4, без длительного хранения. Общая биомасса растений, выращенных на компосте, превосходит контрольные показатели растений, выращенных на торфяных таблетках, в 1,3 раза. Выращивание роз на компосте без длительного хранения оказало влияние на рост листьев у растений. Показатель биомассы листьев превосходит контрольное значение в 2 раза.

При производстве субстратов для доращивания растений, полученных при микроклональном размножении, существует возможность использования биоактиваторов. Для исследования влияния введения биоактиваторов в состав компостируемых смесей были испытаны следующие виды компостов:

компост № 5 – на основе смеси ОСВ ОСК г. Йошкар-Олы и смеси хвойных и лиственных опилок (соотношение компонентов 1,4:1 по массе сухого вещества), сроком компостирования 24 месяца в емкостях объемом 3 м³;

компост № 6 – на основе смеси ОСВ ОСК г. Йошкар-Олы и смеси хвойных и лиственных опилок (соотношение компонентов 1,4:1 по массе сухого вещества) с введением биоактиватора «Бамил», сроком компостирования 24 месяца в емкостях объемом 3 м³.

Испытания проводили на розах сорта «Мейров». Установлено, что введение биоактиватора «Бамил» в компостную смесь повышает приживаемость растений роз на 6 % по сравнению с субстратом, где данный препарат не применялся. В сравнении с торфяными таблетками «Jiffy-7», приживаемость растений была ниже на 27 %. Доказано на пятипроцентном уровне значимости (табл. 9), что введение биоактиватора «Бамил» в компостную смесь оказало наибольшее положительное влияние на высоту роз. В сравнении с торфяными таблетками, показатель выше в 1,9 раза. В сравнении с компостом без введения биоактиватора – в 1,3 раза.

Использование биоактиватора «Бамил» оказало значительное влияние на длину корней роз, в сравнении с торфяными таблетками, показатель выше в 1,5 раза, доказано на пятипроцентном уровне значимости. При сравнении с компостом без введения биоактиватора, достоверных различий по данному показателю не выявлено. Установлено, что величина диаметра корневой шейки роз при использовании нетрадиционных субстратов, в сравнении с торфяными таблетками, выше в 2,2 раза, что доказано на пятипроцентном уровне значимости. Компостная смесь без введения биоактиватора «Бамил» также оказала значительное влияние на величину длины корней роз, в сравнении с торфяными таблетками, показатель выше в 1,7 раза, доказано на пятипроцентном уровне значимости.

Таблица 9

Влияние введения биоактиваторов в компостные смеси на биометрические показатели роз «Мейров», размноженных в культуре *in vitro*

№ компоста	Введение биоактиваторов	X _{ср.} ± m _x			Биомасса 100 растений, г				Приживаемость, %
		Высота, см	Диаметр корневой шейки, см	Длина корней, см	листьев	стеблей	корней	общая	
5	не проводилось	6,31±1,407	0,26±0,016*	8,29±1,200	9,26	2,78	2,20	14,23	47
6	введен «Бамил»	8,43±0,817*	0,33±0,016*	8,49±0,287*	9,75	3,35	1,98	15,08	53

* различие с контролем на пятипроцентном уровне значимости существенно ($t_{\text{факт.}} > t_{\text{табл.}}$)

Наилучшее влияние на образование биомассы у роз, в сравнении с торфяными таблетками, оказала компостная смесь № 6 с введением биоактиватора «Бамил». Общая биомасса растений, выращенных на компосте, превосходит контрольные показатели растений, выращенных на торфяных таблетках, в 1,6 раза. Особое влияние введение биоактиватора «Бамил» оказало на рост листьев у растений. Показатель биомассы листьев превосходит контрольное значение в 2,3 раза.

Компостная смесь № 5, без введения биоактиватора, тоже оказала положительное воздействие на рост листьев. Показатель биомассы листьев, в сравнении с торфяными таблетками, выше в 2,2 раза.

С целью выявления целесообразности просеивания компостов из органических отходов для подготовки нетрадиционных субстратов для пересадки и доращивания растений, полученных при микроклональном размножении, компост № 3 был просеян через сита с ячейками различного диаметра (1, 3, 5, 7 мм). Полученные субстраты были использованы для доращивания роз сорта «Мейров», размноженных в культуре *in vitro*.

В ходе проведения эксперимента выявлено, что размер частиц нетрадиционных субстратов не оказывает существенного влияния на высоту и диаметр корневой шейки роз. Использование компостных смесей с размером частиц от 1 – 5 мм оказывает существенное влияние на длину корней роз, достоверно на пятипроцентном уровне значимости. В сравнении с торфяными таблетками, показатель выше в 1,7 раза.

Наилучшее влияние на образование биомассы у роз, в сравнении с торфяными таблетками, оказали компостные смеси с размерами частиц: 1–3, 3–5 и 5 – 7 мм. Общая биомасса растений, выращенных на данных компостах, превосходит контрольные показатели растений, выращенных на торфяных таблетках, в 1,4; 1,5 и 1,3 раза соответственно. Выращивание роз на компосте с размером частиц 3–5 мм оказало положительное влияние на рост листьев и корней у растений. Показатель биомассы листьев и корней превосходит контрольное значение в 2,2 и 1,3 раза соответственно (табл. 10).

Таблица 10

Влияние размера частиц в составе нетрадиционных субстратов на биометрические показатели роз «Мейров», размноженных в культуре *in vitro*

№ компоста	Размер частиц, мм	Высота, см	Диаметр корневой шейки, см	Длина корней, см	Биомасса 100 растений, г			
					листьев	стеблей	корней	общая
3	от 5 до 7	5,9±0,733	0,18±0,055	7,6±1,068	8,46	2,44	1,67	12,57
	от 3 до 5	7,0±1,387	0,12±0,009	9,5±0,646*	9,33	2,43	2,37	14,13
	от 1 до 3	6,3±0,715	0,14±0,018	9,3±0,293*	9,21	2,52	1,59	13,31
	менее 1	2,4±0,001	0,19±0,001	7,4±0,001	3,20	0,67	0,78	4,65
Контроль (субстрат «Jiffy-7»)		4,5±0,682	0,15±0,010	5,6±0,452	4,20	3,60	1,81	9,61

* различие с контролем на пятипроцентном уровне значимости существенно ($t_{\text{факт.}} > t_{\text{табл.}}$)

Выводы.

1. Наилучший коэффициент размножения наблюдался у сортов «Магия», «Мейров», «Гатьяна», «Rosalinde» и «Крымчанка» при добавлении в среду для культивирования 6-БАП концентрации 2 мг/л и НУК 0,2 мг/л.

2. Проведенные исследования показали, что при доращивании растений, размноженных в культуре *in vitro*, можно успешно использовать субстраты, изготовленные на основе органических отходов.

3. Наилучшее влияние на рост и развитие роз, в сравнении с торфяными таблетками, оказали компостные смеси № 1 и № 3. По этим вариантам опыта было выявлено достоверное увеличение длины корней и общего веса биомассы.

4. Введение биоактиватора «Бамил» в компостную смесь положительно сказалось на росте роз «Мейров». Использование биоактиватора «Бамил», в сравнении с торфяными таблетками, приводит к существенному увеличению высоты растений, длины их корней, диаметра корневой шейки и общей биомассы.

5. Срок хранения субстрата для доращивания растений, полученных при микроклональном размножении, должен быть минимальным и не превышать полугод. В противном случае существенно снижается приживаемость и рост пересаживаемых растений.

6. Наилучшее влияние на рост и развитие роз «Мейров», в сравнении с торфяными таблетками, оказали компостные смеси с размером частиц 1–3 и 3–5 мм. Было отмечено достоверное увеличение высоты, длины корней и общего веса биомассы.

7. Доращивание на исследуемых субстратах растений различного рода и вида показало, что все они по-разному отзывчивы к применяемым субстратам. Данный факт говорит о том, что для получения посадочного материала высокого качества следует более детально подходить к подбору субстрата для доращивания. Применение только лишь торфяных таблеток или других видов промышленно выпускаемых субстратов для доращивания растений не целесообразно в связи со снижением приживаемости и основных качественных показателей посадочного материала.

Список литературы

1. Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kremlin.ru/news/6752> (дата обращения: 12.05.09).
2. Обзор российского рынка цветов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.marketcenter.ru/content/doc-2-9172.html> (дата обращения: 15.12.08.).
3. Шевелуха, В.С. Сельскохозяйственная биотехнология / В.С. Шевелуха, Е.А. Калашникова, С.В. Дегтярёв и др. – М.: Высш. шк., 1998. – 416 с.
4. Поздняков, И.А. Особенности микроклонального размножения шиповника и декоративных сортов рода *Rosa* L.: автореф. дис... канд.с-х. наук: 06.07.01. / И. А. Поздняков. – М., 2007. – 25 с.
5. Arnold, N.P. A study of the effect of growth regulators and time of plantlet harvest on the *in vitro* multiplication rate of hardy and hybrid tea roses / N.P. Arnold, M.R. Binns, N.N. Barthakur, Cloutier D.C. // Journal of Horticultural Science 67. – 1992. – N. 6. – P. 727-735.
6. Бутенко, Р.Г. Биология клеток высших растений *in vitro* и биотехнологии на их основе: Учебное пособие. – М.: ФБК-ПРЕЕС, 1999. – 160 с.
7. Murashige T. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures / T. Murashige, F. Skoog // Physiol. Plant. – 1962. – 15. – P. 473-497.
8. ГОСТ 27980-88. Удобрения органические. Методы определения органического вещества. – М.: Изд. стандартов, 1988 – 11 с.
9. ГОСТ 27979 – 88. Удобрения органические. Метод определения pH. – М.: Изд. стандартов, 1989. – 5 с.

Статья поступила 12.05.11.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (государственный контракт № П208 от 22 июля 2009) и 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 «Экология, биотехнологии и процессы получения экологически чистых энергоносителей» МарГТУ.

*E. M. Romanov, D. I. Mukhortov,
A. D. Sredin, R. V. Sergeev, A. I. Shurgin*

**ORNAMENTAL FLOWERS CULTIVATION IN VITRO WITH THE USE
OF ORGANIC WASTE SUBSTRATES**

It is proved when cultivating explants of roses «Magia», «Tatyana» u «Rosalinde» in nutrient medium MS, which contains 2 mg/l 6-BAP and 0.2 mg/l NAA, propagation coefficient was 5.0, 4.1 and 4.0, respectively. Compost mixtures № 1 and № 3 had the best impact on the growth and development of these kinds of roses. Use of bioactivator «Bamil» in a compost mixture had a positive impact on the growth of roses «Mejrov». In comparison with peat tablets, compost mixtures with particles 1-3 and 3-5 mm had the best impact on the growth and development of roses «Mejrov».

Key words: *in vitro propagation, Rosa hybrida, organic waste, nutritious substrate.*

РОМАНОВ Евгений Михайлович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ, ректор МарГТУ. Область научных интересов – искусственное лесовосстановление. Автор более 170 публикаций.

E-mail: rector@marstu.net

МУХОРТОВ Дмитрий Иванович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ МарГТУ. Область научных интересов – переработка и применение органических отходов в лесном хозяйстве. Автор 76 публикаций.

E-mail: MuchortovDI@marstu.net

СРЕДИН Алексей Дмитриевич – старший преподаватель кафедры садово-паркового строительства, ботаники и дендрологии МарГТУ. Область научных интересов – переработка и применение органических отходов в садово-парковом и ландшафтном строительстве. Автор 25 публикаций.

E-mail: SredinAD@marstu.net

СЕРГЕЕВ Роман Владимирович – старший преподаватель кафедры лесной селекции, недревесных ресурсов и биотехнологии МарГТУ. Область научных интересов – биотехнология, культура растительных клеток. Автор 28 публикаций.

E-mail: SergeevRV@marstu.net

ШУРГИН Алексей Иванович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесной селекции и недревесных ресурсов и биотехнологии МарГТУ. Область научных интересов – переработка и применение органических отходов в лесном хозяйстве. Автор 51 публикации.

E-mail: ashurgin@pochta.ru

УДК 630*232.311.3

П. С. Новиков, О. В. Шейкина, Т. Н. Милютина

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПЛЮСОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА АРХИВЕ КЛОНОВ ПО ISSR-МАРКЕРАМ

Приведены данные исследования генетической изменчивости по ISSR-маркерам плюсовых деревьев сосны обыкновенной на архиве клонов, позволивших выделить 144 полиморфных локуса. Основные параметры генетической изменчивости деревьев составили: индекс Шеннона – 0,407, генетическое разнообразие по Нею – 0,257, эффективное число аллелей – 1,405.

Ключевые слова: ISSR-маркеры, сосна обыкновенная, плюсовые деревья, генетическая изменчивость.

Введение. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) широко распространена на территории нашей страны и играет важную роль в формировании структуры и функций лесных экосистем. Немаловажной задачей научных исследований является оценка степени использования генетического потенциала сосны при организации постоянной лесосеменной базы. Эта задача вытекает из самого содержания работ по организации лесного семеноводства в Российской Федерации. Для создания лесосеменных плантаций используются только плюсовые деревья. Как показывает практика, количество таких деревьев в различных субъектах РФ достаточно ограничено, поэтому есть определенный риск снижения генетического разнообразия искусственно создаваемых лесов при использовании в лесном семеноводстве ограниченного количества плюсовых деревьев. В связи с этим исследования, связанные с изучением индивидуальной изменчивости плюсовых деревьев и оценкой доли генетической изменчивости вида, приходящейся на плюсовые деревья, являются актуальными и необходимыми.

ДНК-маркеры доказали свою значимость в исследованиях генетического разнообразия. Часто в исследованиях применяются ПЦП-системы, основанные на RAPD, AFLP и SSR ДНК-маркерах [1, 2]. Основные недостатки этих методов – низкая воспроизводимость RAPD-анализа, высокая стоимость AFLP и необходимость знания фланговых последовательностей праймеров для SSR-анализа. ISSR-анализ не имеет большинства из этих ограничений [3–6]. Он широко используется научным сообществом в различных областях исследований растений [7]. При этом методе анализа амплифицируются участки между короткими тандемными микросателлитными повторами из 1–4 оснований ДНК, которые повсеместно присутствуют в геномах эукариот [8]. Они рассеяны по всему геному и различаются по числу повторяющихся единиц.

ISSR-анализ был успешно использован для оценки степени генетического разнообразия на меж- и внутривидовом уровне в широком диапазоне видов сельскохозяйственных культур, которые включают рис [9], пшеницу [10], просо [11], виноград [12], картофель [13] и подорожник [14]. Также он применялся при оценке генетического разнообразия какао [15], ели Дугласа и суджи [16] и даже грибов [17]. В то же время анализ литературы показал, что в России до сих пор исследования, посвященные изучению генетического разнообразия сосны обыкновенной по ISSR-маркерам, не проводились.

Цель работы заключалась в изучении генетической изменчивости плюсовых деревьев сосны обыкновенной на архиве клонов на основе проведения полимеразной цепной реакции с 7 ISSR-праймерами.

Достижение поставленной цели предусматривает решение следующих задач:

- 1) сбор образцов хвои для выполнения генетического анализа;
- 2) выделение ДНК и проверка его качества;
- 3) проведение полимеразной цепной реакции (ПЦР) с ISSR-праймерами;
- 4) выполнение электрофоретического разделения продуктов ПЦР;
- 5) обработка полученных гелей и расчет основных параметров, характеризующих уровень генетической изменчивости совокупности изучаемых плюсовых деревьев сосны обыкновенной.

Материалы и методы. Объектом исследований являлись клоны плюсовых деревьев сосны обыкновенной, растущие на архиве клонов в Учебно-опытном лесхозе Республики Марий Эл. Всего проанализировано 41 плюсовое дерево.

В качестве исходного материала для экстракции геномной ДНК использовали хвою, которую хранили после сбора при -20°C . За основу бралась стандартная методика с применением 2×СТАВ-буфера [18].

Для экспериментальной работы были взяты 7 ISSR-праймеров, характеризующихся высокой индивидуальной изменчивостью и обеспечивающих простоту интерпретации результатов анализа (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Характеристика используемых ISSR-праймеров

Праймер (Sequence 5'-3')	Оптимальная температура отжига (T_{m0} , $^{\circ}\text{C}$)	Количество циклов амплификации	Концентрация Taq- полимеразы, μl
(CA) ₆ AGG	60	45	0,2
(CA) ₆ GT	60		
(CA) ₆ AC	60		
(GA) ₈ T	65		
(AG) ₈ GCT	65		
(AG) ₈ GCA	60		
(AG) ₈ C	60		

Полимеразную цепную реакцию проводили в следующих условиях: реакционная смесь объемом 10 мкл содержала 1 мкл ПЦР-буфера; 0,2 мкл 10 Мм dNTPs; 0,1 мкл 100 мкМ праймера; 1 мкл образца ДНК; 0,1 мкл Taq-полимеразы (2 ед/мкл); 7,6 мкл воды. Для проведения реакции использовали набор реактивов «Encyclo PCR kit» (Evrogen). Режим амплификации: 5 мин денатурация при 94°C , 0,5 мин денатурация при 94°C , 45 сек отжиг ($45-60^{\circ}\text{C}$), элонгация 2 мин при 72°C , 7 мин достройка при 72°C , 45 циклов амплификации. Реакции проводили в тонкостенных пробирках, объемом 200 мкл на амплификаторе MJ MiniTM Gradient Thermal Cycler (BIO-RAD).

Электрофорез ДНК проводили в агарозных гелях с концентрацией агарозы 1,5 %. Разделение проводили в электрофорезной камере PowerPacTM Universal (BIO-RAD) в TBE буфере с добавлением бромистого этидия в течение 2–2,5 часов при напряжении электрического поля 70 мV.

Визуализацию ДНК, обработку и анализ полученных изображений проводили с помощью системы гель-документации GelDoc 2000 (BIO-RAD) с использованием программного пакета Quantity One® Version 4.6.3. Математическую обработку данных проводили в среде POPGENE Version 1.32 [19]. ISSR-профили анализировались по наличию (1) или отсутствию (0) полос на геле, соответствующих определенным в табл. 2 фрагментам, и математически обрабатывались в среде POPGEN [19]. На основании полученных данных рассчитывались относительные частоты фрагментов. Полученные частоты ISSR-фрагментов использовались для оценки основных параметров генетической изменчивости плюсовых деревьев сосны. Для этого были рассчитаны следующие параметры оценки генетической

изменчивости: наблюдаемое число аллелей – N_a , эффективное число аллелей – N_e , общее генетическое разнообразие – H (индекс Нея) и индекс Шеннона – I .

Результаты и обсуждение. По результатам ISSR-анализа ДНК, выделенной из хвои клонов плюсовых деревьев сосны, было установлено, что 7 ISSR-праймеров позволяют определить 144 амплифицируемых фрагмента, из которых 29 фрагментов приходится на $(CA)_6AGG$, 13 – на $(CA)_6GT$, 20 – на $(CA)_6AC$, 21 – на $(GA)_8T$, 29 – на $(AG)_8GCT$, 19 – на $(AG)_8GCA$ и 13 – на $(AG)_8C$ (табл. 2.). Все обнаруженные локусы можно считать полиморфными, так как фрагмент ДНК, который бы встречался абсолютно у всех плюсовых деревьев независимо от происхождения, выявлен не был. Длина амплифицированных фрагментов ДНК у разных праймеров варьировала от 1900 до 130 пар нуклеотидов. Пример электрофореграммы продуктов ПЦР с праймером $(CA)_6AGG$ приведен на рис. 1.

Таблица 2

Результаты ПЦР ДНК клонов плюсовых деревьев сосны

Праймер	Количество полиморфных фрагментов	Размеры амплифицируемых фрагментов, bp
$(CA)_6AGG$	29	1900, 1750, 1550, 1400, 1300, 1000, 850, 830, 800, 750, 700, 680, 650, 630, 570, 530, 500, 470, 450, 420, 400, 360, 320, 300, 270, 220, 180, 150, 130
$(CA)_6GT$	13	950, 830, 700, 560, 500, 430, 380, 370, 330, 280, 250, 230, 200
$(CA)_6AC$	20	1700, 1400, 1100, 950, 900, 800, 750, 700, 650, 600, 550, 500, 450, 400, 370, 350, 300, 290, 210, 200
$(GA)_8T$	21	1570, 1500, 1400, 1300, 1200, 1100, 970, 900, 820, 770, 730, 670, 650, 620, 580, 530, 500, 480, 440, 400, 360
$(AG)_8GCT$	29	1800, 1700, 1500, 1300, 1200, 1100, 1000, 970, 800, 750, 730, 700, 680, 630, 590, 570, 550, 520, 500, 480, 430, 370, 350, 300, 270, 210, 180, 150, 130
$(AG)_8GCA$	19	1380, 1250, 1150, 950, 850, 780, 700, 670, 650, 630, 600, 560, 520, 470, 450, 430, 350, 330, 280
$(AG)_8C$	13	1100, 1000, 910, 750, 700, 650, 600, 500, 450, 400, 350, 250, 200

На основе анализа полученных электрофореграмм были рассчитаны частоты встречаемости аллелей обнаруженных локусов для анализируемой совокупности плюсовых деревьев. Полученные частоты ISSR-фрагментов использовались для оценки основных параметров генетической изменчивости плюсовых деревьев сосны. Расчеты показали, что в исследуемой группе плюсовых деревьев эффективное число аллелей (N_e) составило – 1,405, индекс Шеннона (I) – 0,407, общее генетическое разнообразие (H) – 0,257.

Для оценки уровня генетической изменчивости плюсовых деревьев по ISSR-маркерам необходим сравнительный анализ с показателями, присущими виду в данном географическом районе в целом. Однако, как уже отмечалось выше, в России исследования популяций сосны обыкновенной по ISSR-маркерам пока не проводились, и выполнить сравнительный анализ нет возможности. В то же время имеются работы по изучению сосны обыкновенной с использованием ISSR-маркеров за рубежом, в частности в Китае [20]. Как показывает анализ табл. 3, в целом уровень генетической изменчивости изученных плюсовых деревьев не уступает уровню генетической изменчивости на видовом уровне, выявленному в Китае: эффективное число аллелей 1,405 против 1,2652; генетическое разнообразие по Нею 0,257 против 0,2393 и индекс Шеннона 0,407 против 0,1581.

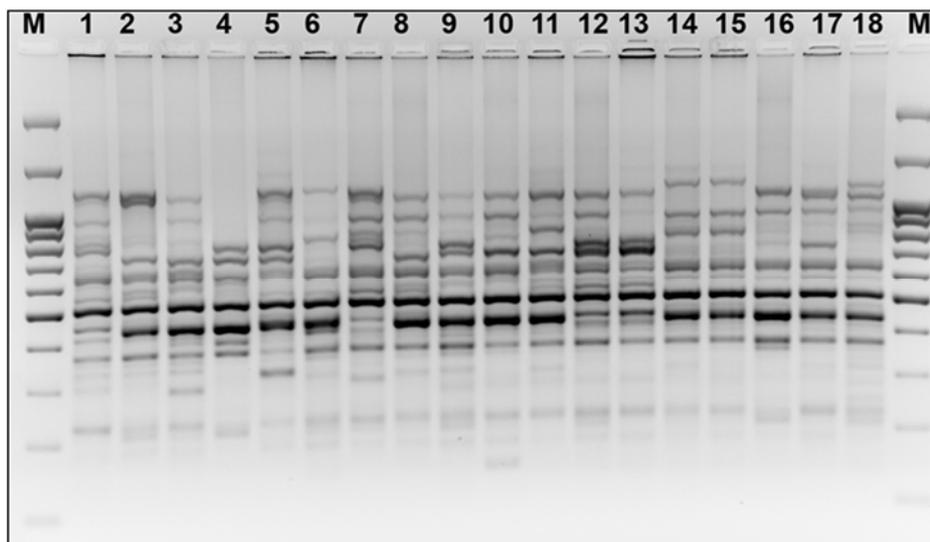


Рис. 1. Электрофореграмма ПЦР-продуктов ДНК сосны с праймером $(CA)_6AGG$: 1-18 – номера образцов ДНК, М – маркер молекулярных размеров (СибЭнзим, 100bp+3,0kb)

Т а б л и ц а 3

Сравнительный анализ уровня генетической изменчивости сосны обыкновенной по ISSR-маркерам

Показатели генетической изменчивости	Плюсовые деревья сосны обыкновенной	Данные Li Hui-yu, Jing Jing, Liu Gui-frng и др. [20].	
		варьирование показателей в разных популяциях	в среднем по виду
Эффективное число аллелей (N_e)	1,405	1,1339-1,3349	1,2652
Генетическое разнообразие по Нею (H)	0,257	0,1340-0,3025	0,2393
Индекс Шеннона (I)	0,407	0,0857-0,2006	0,1581

Таким образом, проведенные исследования показали, что совокупность клонов плюсовых деревьев, представленных на архиве клонов в Республике Марий Эл, характеризуется достаточно высоким уровнем генетической изменчивости по ISSR-маркерам. Выполненная работа позволит внести определенный задел в исследования биоразнообразия сосны обыкновенной в Среднем Поволжье.

Выводы.

1. Исследования показали, что ISSR-анализ является хорошим инструментом для изучения и оценки уровня генетической изменчивости сосны обыкновенной, так как взятые для эксперимента ISSR-праймеры показали высокую индивидуальную изменчивость.

2. С использованием 7 ISSR-праймеров было выявлено 144 полиморфных фрагмента ДНК. Количество фрагментов у разных праймеров варьировало от 13 до 29 и в среднем на праймер составило 21. Длина амплифицированных фрагментов ДНК у разных праймеров варьировала от 1900 до 130 пар нуклеотидов.

3. Изученная группа плюсовых деревьев характеризуется следующими показателями генетической изменчивости: эффективное число аллелей (N_e) – 1,405, индекс Шеннона (I) – 0,407, общее генетическое разнообразие (H) – 0,257. Данные показатели позволяют говорить о достаточно высоком уровне генетической изменчивости плюсовых деревьев сосны обыкновенной, потомство которых представлено на архиве клонов в Республике Марий Эл.

Список литературы

1. Staub, J.E. Genetic markers, map construction, and their application in plant breeding / J.E. Staub, F.C. Serquen & M. Gupta // HortScience. – 1996. – Vol. 31(5). – P. 729–739.
2. Gupta, P.K. The development and use of microsatellite markers for genetic analysis and plant breeding with emphasis on bread wheat / P.K. Gupta, & R.K. Varshney // Euphytica. – 2000. – Vol. 113. – P. 163–185.
3. Zietkiewicz, E. Genome fingerprinting by simple sequence repeat (SSR) – anchored polymerase chain reaction amplification / E. Zietkiewicz, A. Rafalski & D. Labuda // Genomics. – 1994. – Vol. 20. – P. 176–183.
4. Gupta, M. Amplification of DNA markers from evolutionarily diverse genomes using single primers of simple-sequence repeats / M. Gupta, Y-S. Chyi, J. Romero-Severson & J.L. Owen // Theor Appl Genet. – 1994. – Vol. 89. – P. 998–1006.
5. Wu, K. Detection of microsatellite polymorphisms without cloning / K. Wu, R. Jones, L. Danaeberger & P.A. Scolnik // Nucleic Acids Res. – 1994. – Vol. 22. – P. 3257–3258.
6. Meyer, W. Hybridization probes for conventional DNA fingerprinting used as single primers in the polymerase chain reaction to distinguish strains of *Cryptococcus neoformans* / W. Meyer, T.G. Mitchell, E.Z. Freedman & R. Vilgays // J Clin Microbiol. – 1993. – Vol. 31. – P. 2274–2280.
7. Godwin, I.D. Application of inter-simple sequence repeat (ISSR) markers to plant genetics / I.D. Godwin, E.A.B. Aitken & L.W. Smith // Electrophoresis. – 1997. – Vol. 18. – P. 1524–1528.
8. Tautz, D. Simple sequences are ubiquitous repetitive components of eukaryotic genomes / D. Tautz, & M. Renz // Nucleic Acids Res. – 1984. – Vol. 12. – P. 4127–4138.
9. Joshi, S.P. Genetic diversity and phylogenetic relationship as revealed by inter-simple sequence repeat (ISSR) polymorphism in the genus *Oryza* / S.P. Joshi, V.S. Gupta, R.K. Aggarwal, P.K. Ranjekar & D.S. Brar // Theor Appl Genet. – 2000. – Vol. 100. – P. 1311–1320.
10. Nagaoka, T. Applicability of inter-simple sequence repeat polymorphisms in wheat for use as DNA markers in comparison to RFLP and RAPD markers / T. Nagaoka, & Y. Ogihara // Theor Appl Genet. – 1997. – Vol. 94. – P. 597–602.
11. Salimath, S.S. Assessment of genome origins and genetic diversity in the genus *Eleusine* with DNA markers / S.S. Salimath, A.C. de Oliveira, I.D. Godwin & J.L. Bennetzen // Genome. – 1995. – Vol. 38. – P. 757–763.
12. Ajibade, S.R. Inter-simple sequence repeat analysis of genetic relationships in the genus *Vigna* / S.R. Ajibade, N.F. Weeden & S.M. Chite // Euphytica. – 2000. – Vol. 111. – P. 47–55.
13. Huang, J. Genetic diversity and relationships of sweet potato and its wild relatives in *Ipomoea* series *Batatas* (Convolvulaceae) as revealed by inter-simple sequence repeat (ISSR) and restriction analysis of chloroplast DNA / J. Huang, & S.M. Sun // Theor Appl Genet. – 2000. – Vol. 100. – P. 1050–1060.
14. Wolff, K. PCR markers distinguish *Plantago* major subspecies / K. Wolff, & M. Morgan-Richards // Theor Appl Genet. – 1998. – Vol. 96. – P. 282–286.
15. Charters, Y.M. The use of self-pollinated progenies as ‘in-groups’ for the genetic characterization of cocoa germplasm / Y.M. Charters, & M.J. Wilkinson // Theor Appl Genet. – 2000. – Vol. 100. – P. 160–166.
16. Tsumura, Y. Diversity and inheritance of inter-simple sequence repeat polymorphisms in Douglasfir (*Pseudotsuga menziesii*) and sugi (*Cryptomeria japonica*) / Y. Tsumura, K. Ohba & S.H. Strauss // Theor Appl Genet. – 1996. – Vol. 92. – P. 40–45.
17. Hantula, J. Random amplified microsatellites (RAMS)- a novel method for characterizing genetic variation within fungi / J. Hantula, M. Dusabenyagasani & R.C. Hamelin // Eur J for Path. – 1996. – Vol. 26. – P. 159–166.
18. Rogers, S.O. Extraction of total cellular DNA from plants, algae and fungi / S.O. Rogers, A.J. Benedich // S.B. Gelvin, R.A. Schilperoort (eds.) Plan Molecular Biology Manual. – Dordrecht: Kluwer Academic Press, 1994. – P. D 1-8.
19. Yeh, F.C. Population genetic analysis of co-dominant and dominant markers and quantitative traits / F.C. Yeh, and T.J.B. Boyle // Belgian Journal of Botany. – 1997. – Vol. 129. – P. 157.
20. Hui-yu, Li. Genetic variation and division of *Pinus sylvestris* provenances by ISSR markers / Li Hui-yu, Jing Jing, Liu Gui-frng, Ma Xu-jun, Dong Jing-xiang, Lin Shi-jie// Journal of Forest Research.– 2005.– Vol. 16(3).– P. 216-218.

Статья поступила в редакцию 05.09.11.

Работа выполнена 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 «МарГТУ».

P. S. Novikov, O. V. Sheikina, T. N. Milutina

**VARIATION OF PINUS SYLVESTRIS PLUS TREES ON THE CLONE ARCHIVE
IN ACCORDANCE WITH ISSR MARKERS**

Genetic variation researches data of plus trees of pinus sylvestris on the clone archive in accordance with ISSR-markers are given. The data allowed to sort out 144 polymorphic locus. Basic parameters of the trees genetic variation were: Shannon index – 0,407, Nei's genetic diversity – 0,257 and effective number of alleles – 1,405.

Key words: *ISSR markers, Pinus Sylvestris, plus trees, genetic variation*

НОВИКОВ Петр Сергеевич – аспирант кафедры лесной селекции, недревесных ресурсов и биотехнологии МарГТУ. Область научных интересов – лесное семеноводство, молекулярная генетика древесных видов. Автор 19 публикаций.

E-mail: novikov-petr@mail.ru

ШЕЙКИНА Ольга Викторовна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесной селекции, недревесных ресурсов и биотехнологии МарГТУ. Область научных интересов – лесное семеноводство, молекулярная генетика древесных видов. Автор 30 публикаций.

E-mail: ShejkinaOV@marstu.net

МИЛЮТИНА Татьяна Николаевна – аспирант кафедры лесной селекции, недревесных ресурсов и биотехнологии МарГТУ. Область научных интересов – лесное семеноводство, молекулярная генетика древесных видов. Автор 18 публикаций.

E-mail: Milutina_Tanja@mail.ru

УДК 66.097.3

А. А. Медяков, А. Д. Каменских

РАЗРАБОТКА НОВЫХ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА

Приводится обзор существующих технических решений в области каталитических устройств. На основе анализа существующих технических решений предлагаются новые схемно-конструктивные решения каталитических систем для процессов получения биогаза из органических отходов. Особенности организации взаимодействия потока реагентов с каталитическим наполнителем в предлагаемых системах позволяют интенсифицировать процесс протекания реакции, а также оптимизировать конструктивные особенности каталитических систем.

Ключевые слова: каталитические системы, катализатор, каталитический наполнитель, биогаз, псевдооживленный слой, циркулирующий слой.

Введение. Каталитические устройства для полного низкотемпературного окисления горючих компонентов биогаза могут использоваться в существующих системах вместо традиционных устройств факельного сжигания. Однако по сравнению с традиционными источниками тепла каталитические устройства сжигания имеют ряд преимуществ. К ним относятся:

- 1) полнота сжигания топлива, которая способствует повышению эффективности процесса горения;
- 2) снижение температуры процесса горения, которое обеспечивает конструктивные преимущества каталитических устройств горения;
- 3) сокращение выбросов вредных газов в атмосферу в связи со снижением температуры горения и более полным сжиганием топлива;
- 4) снижение минимальной концентрации топлива в смеси до 0,5 % объема [1].

Использование каталитических устройств в качестве устройств обогрева, предназначенных для поддержания определенной температуры в технологических объектах или производственных помещениях, позволяет повысить эффективность систем обогрева за счет повышения эффективности процесса горения и сокращения выбросов вредных газов в атмосферу. Непосредственно заменяя традиционные устройства факельного сжигания разрабатываемыми системами, можно повысить эффективность поддержания необходимой температуры на объектах.

В связи с тем, что большинство систем обогрева представляют собой системы с промежуточным теплоносителем – водой, разрабатываемые каталитические системы снабжаются водяным теплообменником со стандартными монтажными соединениями (сварное, фланцевое или резьбовое), что позволяет монтировать их вместо существующих устройств обогрева для процессов получения биогаза.

Однако особенности каталитических устройств сжигания позволяют создавать новые технические решения подогревателей, применяемых для процессов получения биогаза. На рис. 1 представлена схема использования каталитических устройств сжигания для обогрева биогазовой установки.

Каталитический подогреватель, потребляя биогаз, производит тепловую энергию и уходящие после процесса горения газы. Тепловая энергия непосредственно используется

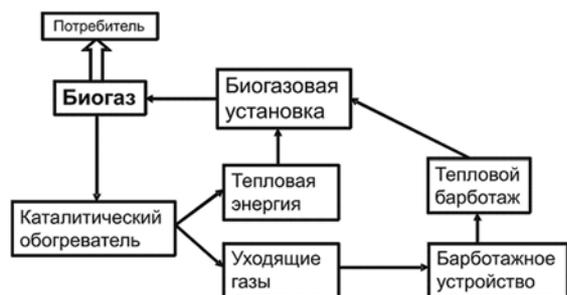


Рис. 1. Схема использования каталитических устройств сжигания для обогрева биогазовой установки

для обогрева биогазовой установки, а барботажное устройство с помощью уходящих газов создает тепловой барботаж, который одновременно служит для перемешивания субстрата и для его обогрева.

Традиционные устройства факельного сжигания топлива используются в процессах получения биогаза для утилизации излишков биогаза. В процессе работы биогазовых установок бывают аварийные ситуации, связанные с повышением

давления биогаза в резервуарах выше допустимого, или технологические ситуации, связанные с необходимостью технического обслуживания заполненных биогазом систем, при которых необходимо удалять биогаз.

Однако непосредственное удаление биогаза в атмосферу невозможно из-за высокой степени парникового воздействия метана, основной составляющей биогаза. Для сокращения вредного воздействия удаляемого биогаза его сжигают с помощью факельных установок.

Использование каталитических устройств в утилизаторах биогаза в аварийных и технологических ситуациях позволяет сократить выбросы вредных газов в атмосферу в связи со снижением температуры горения и более полным сжиганием топлива по сравнению с традиционными факельными устройствами сжигания. Непосредственно заменяя традиционные устройства факельного сжигания разрабатываемыми системами, можно повысить безопасность утилизации биогаза. Для осуществления возможности монтажа вместо существующих устройств утилизации для процессов получения биогаза разрабатываемые каталитические системы могут снабжаться стандартными монтажными соединениями (сварное, фланцевое или резьбовое). В связи с тем, что для аварийных и технологических утилизаторов в настоящее время не предусмотрено специальное охлаждение, каталитические устройства утилизации должны снабжаться эффективными воздушными теплообменниками для поддержания температуры систем в допустимых пределах.

Особенности каталитических устройств сжигания позволяют создавать новые технические решения устройств, применяемых для процессов получения биогаза. При создании биогазовых установок совокупность узлов и систем для обеспечения технологического процесса размещаются в специальных помещениях. Причем при создании малых биогазовых установок в большинстве случаев они полностью размещаются в специальных помещениях. При размещении узлов и систем газопроводов и газораспределительных систем в помещениях возможны ситуации накопления биогаза в помещениях. Непосредственное проветривание помещений приводит к загрязнению атмосферы сильным парниковым газом – метаном. В таких ситуациях эффективным является использование каталитических устройств для полного низкотемпературного окисления горючих компонентов биогаза. Процесс горения на поверхности каталитического наполнителя начинается с концентрации метана 0,5 % объема, что приблизительно в девять раз ниже взрывоопасной концентрации. Это позволяет производить утилизацию скопившегося в помещении биогаза при периодическом проветривании помещений через каталитические устройства сжигания. При этом будет выделяться теплота, которая может быть использована для обогрева проветриваемых помещений, причем подогретые после процесса каталитического горения уходящие газы являются безопасными и могут быть возвращены в помещение.

Обзор существующих разработок. В настоящее время разработаны различные конструкции каталитических устройств сжигания. Наибольшее количество конструкций включают в себя неподвижный слой катализатора, через который пропускается топливовоздушная смесь. Однако из-за высокой экзотермичности реакции сжигания метана в первой части

неподвижного слоя катализатора возникают «горячие точки» с температурой выше 1500 °С [1]. Это обстоятельство предъявляет особые требования к конструкции каталитических наполнителей и каталитических систем.

При высоких температурах может произойти постепенное разрушение каталитического наполнителя и выход из строя всей каталитической системы. В связи с этим в каталитических системах используют высокотемпературные каталитические наполнители, в частности, в работе [2] предлагается использовать спеченные металлические частицы, покрытые высокопористыми керамическими слоями. Однако использование таких каталитических систем фактически не приводит к снижению температуры процесса горения, что не позволяет обеспечить конструктивные преимущества каталитических устройств сжигания и сократить выбросы вредных газов в атмосферу.

Для снижения температуры каталитического наполнителя до необходимых значений применяют контролируемый и распределенный ввод топлива и окислителя (кислорода). В частности, в работе [3] предлагается каталитическая система с введением кислорода в две стадии. Однако использование таких каталитических систем требует создания сложных систем распределенного ввода окислителя, либо топлива, а также сложной системы регулирования количества вводимых в каждой части каталитической системы топлив и окислителя. Для снижения температуры каталитического наполнителя до необходимых значений применяют дополнительное внешнее охлаждение. В частности, в работе [1] описываются каталитические горелки с применением внешнего водяного охлаждения.

Однако использование таких каталитических систем создает градиент температуры внутри наполнителя от центра к его периферии, что связано с необходимостью интенсивного охлаждения каталитических систем. В результате происходит охлаждение пристеночных слоев наполнителя вплоть до прекращения в них процесса горения.

Охлаждение наполнителя может осуществляться также с помощью дополнительного внутреннего охлаждения. В работе [4] предлагается для этого использовать керамическую трубчатую каталитическую систему с сопряженным по теплу внутренним алюминиевым теплообменником. Однако использование таких каталитических систем требует создания сложных теплообменных устройств и необходимость предварительного сопряжения их по теплу с каталитической системой.

Определенную группу представляют собой катализаторы, работающие не в стационарном режиме.

В связи с образованием фронта горения (охлаждения) в неподвижном слое катализатора при низких концентрациях топлива в смеси был предложен реверс-процесс, позволяющий изменять направление движения фронта на обратное при изменении направления подачи смеси топливо-окислитель. Периодический реверс газового потока позволяет создать в центре слоя катализатора высокотемпературную зону реакции (300-600 °С), а торцам слоя (заполненным инертным материалом) отводится роль регенераторов тепла [5].

Промежуточное место между каталитическими системами, работающими в стационарном режиме, и системами, работающими в нестационарном режиме, занимают каталитические системы с псевдооживленным слоем каталитического наполнителя. В работе [6] описывается каталитический генератор тепла с кипящим слоем со встроенными теплообменными устройствами. Очевидно, что каталитические системы с подвижным слоем катализатора обладают большей равномерностью распределения температур в толще каталитического наполнителя, что обеспечивает равномерное протекание реакции окисления во всем объеме каталитической системы. Это обусловлено перемешиванием каталитического наполнителя в направлении движения потока реагентов, что позволяет распределить высокотемпературные центры по всей толщине слоя, и в направлении, перпендикулярном движению потока реагентов, что позволяет сгладить неравномерность температур при естественном охлаждении поверхности систем.

Цель работы – на основе анализа существующих технических решений в области каталитических устройств разработать ряд схемно-конструктивных решений каталитических систем для процессов получения биогаза из органических отходов, отличающихся особенностями организации взаимодействия потока реагентов с каталитическим наполнителем, что позволит интенсифицировать процесс протекания реакции, а также оптимизировать конструктивные особенности каталитических систем в зависимости от особенностей технологического процесса.

Разработка новых каталитических систем для процессов получения биогаза. Создание псевдооживленного слоя с высокой интенсивностью перемешивания требует уменьшения его толщины, что приводит к сокращению времени контакта реагирующей смеси с каталитическим наполнителем. Для решения этой задачи была разработана схема каталитической системы, состоящей из совокупности последовательно расположенных псевдооживленных слоев каталитического наполнителя (рис. 2). Топливо и кислород подаются снизу на решетку, на которой расположен небольшой слой каталитического наполнителя, при прохождении через наполнители часть смеси сгорает с выделением теплоты, а также происходит интенсивное перемешивание каталитического наполнителя. Затем недогоревшая смесь направляется на следующую решетку, где происходит аналогичный процесс. Количество секций с высокоинтенсивными псевдооживленными слоями определяется скоростью реакции в каждой секции. Уходящие газы удаляются через выходной патрубок каталитической системы.

Использование подобных каталитических систем позволяет оптимизировать параметры каждого слоя наполнителя по параметрам интенсивности перемешивания, что способствует равномерному распределению температуры внутри каталитического наполнителя, позволяющему повысить интенсивность протекания реакции в каждом конкретном слое.

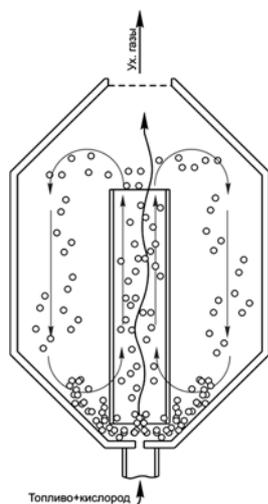


Рис. 3. Разработанная каталитическая система с циркулирующим каталитическим наполнителем и подъемной трубой

Перспективным является создание каталитических систем, отличающихся от систем с псевдооживленным слоем более интенсивным и направленным перемещением каталитического наполнителя. Для решения этой задачи была разработана схема каталитической системы с циркулирующим каталитическим наполнителем и подъемной трубой (рис. 3).

В каталитических системах с циркулирующим каталитическим наполнителем и подъемной трубой топливо и кислород подаются снизу через специальное сопло или диафрагму, которые позволяют увеличить скорость потока смеси и обеспечить интенсивный унос каталитического наполнителя в подъемную трубу. При движении по подъемной трубе осуществляется реакция, в результате которой наполнитель и уходящие газы разогреваются. На выходе из подъемной трубы сила, действующая на наполнитель со стороны потока уходящих газов, ослабляется, и каталитический наполнитель под действием силы тяжести возвращается к основанию подъемной трубы. Уходящие газы удаляются через выходной патрубок каталитической системы.

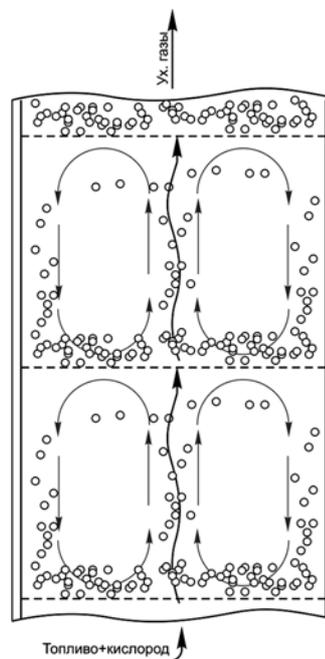


Рис. 2. Разработанная каталитическая система со множеством псевдооживленных слоев

Использование подобных каталитических систем позволяет интенсифицировать процесс протекания реакции за счет большего времени контакта реагентов смеси с поверхностью перемещаемого ею каталитического наполнителя, а также обеспечить организованное возвращение прогретого в процессе реакции каталитического наполнителя в зону подачи топливно-воздушной смеси.

Для решения задачи повышения эффективности функционирования каталитических систем было предложено увеличить время контакта каталитического наполнителя с потоком смеси реагентов. Для этого было предложено вводить каталитический наполнитель непосредственно в поток реагентов. В результате будет образовываться реагирующий поток, состоящий из транспортируемой смеси топливо–воздух и каталитического наполнителя, на поверхности которого будет происходить взаимодействие компонентов смеси. Причем скорость движения потока будет увеличиваться в связи с температурным расширением газов при экзотермической реакции. При своем движении поток может охлаждаться как с помощью внешних, так и внутренних теплообменников. Отделение каталитического наполнителя от потока уходящих газов может быть организовано разными способами.

На рис. 4 представлена схема функционирования каталитической системы с перемещаемым каталитическим наполнителем с продольным отделением от потока.

Отделение наполнителя от потока происходит при движении по кольцу. Под действием центробежных сил каталитический наполнитель, обладающий большей плотностью по сравнению со смесью реагентов, при движении по кольцу смещается к периферии. Затем наполнитель отделяется с помощью продольного отделителя и транспортируется в зону подачи топливно-воздушной смеси.

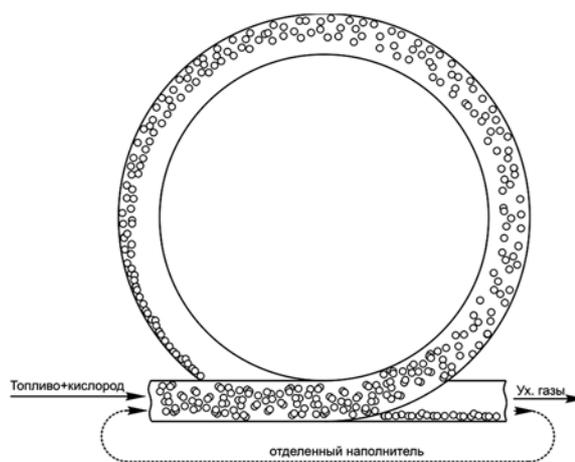


Рис. 4. Схема функционирования каталитической системы с перемещаемым каталитическим наполнителем с продольным отделением от потока

На рис. 5 представлена схема функционирования каталитической системы с перемещаемым каталитическим наполнителем с поперечным отделением от потока. Отделение наполнителя от потока происходит при движении по спиральной направляющей. Под действием центробежных сил каталитический наполнитель, обладающий большей плотностью по сравнению со смесью реагентов, при движении по спиральной направляющей смещается к периферии трубы. Затем наполнитель отделяется от потока с помощью поперечного отделителя и транспортируется в зону подачи топливно-воздушной смеси.



Рис. 5. Схема функционирования каталитической системы с перемещаемым каталитическим наполнителем с поперечным отделением от потока

На рис. 6 представлена схема функционирования каталитической системы с перемещаемым каталитическим наполнителем с сепарационным отделением от потока.

Отделение наполнителя от потока происходит в специальном сепарационном устройстве. Под действием центробежных сил каталитический наполнитель, обладающий большей плотностью по сравнению со смесью реагентов, при движении по сепарационному устройству смещается к его периферии. Затем наполнитель под действием силы тяжести удаляется через нижний патрубок сепарационного устройства, а уходящие газы удаляются через верхний патрубок. Затем осуществляется транспортировка наполнителя в зону подачи топливно-воздушной смеси.

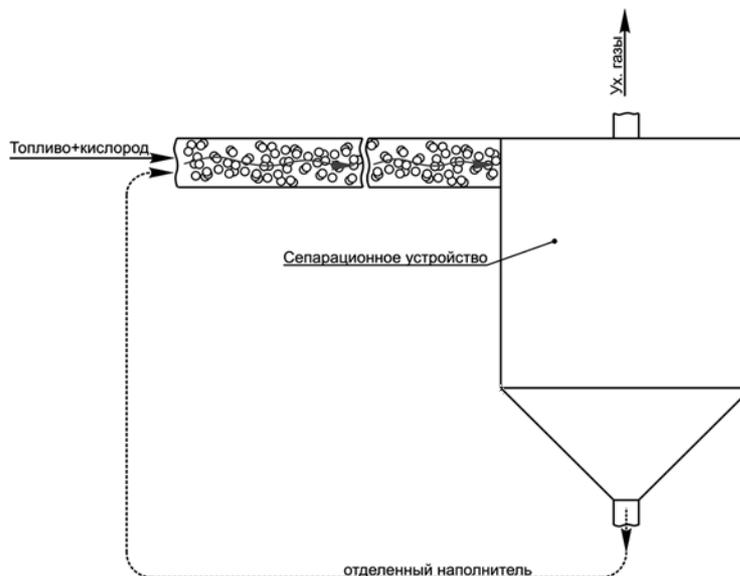


Рис. 6. Схема функционирования каталитической системы с перемещаемым каталитическим наполнителем с сепарационным отделением от потока

Выводы. На основе анализа существующих технических решений в области каталитических устройств был разработан ряд схемно-

конструктивных решений каталитических систем для процессов получения биогаза из органических отходов, отличающихся особенностями организации взаимодействия потока реагентов с каталитическим наполнителем, что позволит интенсифицировать процесс протекания реакции, а также оптимизировать конструктивные особенности каталитических систем в зависимости от особенностей технологических процессов.

Список литературы

1. Лукьянов, Б. Н. Экологически чистое окисление углеводородных газов в каталитических нагревательных элементах / Б. Н. Лукьянов, Н. А. Кузин, В. А. Кириллов и др. // Химия в интересах устойчивого развития. – 2001. – № 9. – С. 667 – 677.
2. van Giezen, J. C. The development of novel metal-based combustion catalysts / J.C. van Giezen, M. Intven, M. D. Meijer et al. // Catal. Today. – 1999. – № 47. – P. 191-197.
3. Zhi-yong, P. A novel two-stage process for catalytic oxidation of methane to synthesis gas / P. Zhi-yong, D. Chao-yang, S. Shi-kong // Ranliao Huaxue Xuebao. – 2000. – № 4. – P. 348.
4. Theophilos, P. Development of a novel heat-integrated wall reactor for the partial oxidation of methane to synthesis gas / P. Theophilos, V. Xenophon // Catal. Today. – 1998. – № 46. – P. 71-81.
5. Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН – РЕВЕРС-ПРОЦЕСС - Каталитическая очистка отходящих газов [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.catalysis.ru/block/index.php?ID=3&SECTION_ID=1483, свободный.
6. Ismagilov, Z. R. Fluidized bed catalytic combustion / Z. R. Ismagilov, M. A. Kerzhentsev // Catal. Today. – 1999. – № 47. – P. 339-346.

Статья поступила в редакцию 08.09.11.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ на оборудовании Центра коллективного пользования «Экология, биотехнологии и процессы получения экологически чистых энергоносителей».

A. A. Medyakov, A. D. Kamenskikh

**NEW CATALYTIC SYSTEMS DEVELOPMENT FOR THE PROCESSES
OF BIOGAS RECEIPT**

A review of existing technical solutions for catalytic devices is carried out. On the basis of analysis of existing technical solutions, new circuit-constructive solutions of catalyst systems for the processes of biogas production from organic waste are offered. Peculiarities of organization of interaction of the flow of reagents with catalytic filler in the proposed catalytic systems allow to intensify the process of reaction as well as to optimize constructive peculiarities of catalyst systems.

Keywords: *catalyst systems, catalyst, catalytic filler, biogas, fluidized bed, circulating bed.*

МЕДЯКОВ Андрей Андреевич – ассистент кафедры эксплуатации машин и оборудования МарГТУ. Область научных интересов – утилизация органических отходов, процессы получения экологически чистых энергоносителей. Автор 13 публикаций.

E-mail: MedyakovAA@marstu.net

КАМЕНСКИХ Александр Дмитриевич – инженер кафедры эксплуатации машин и оборудования МарГТУ. Область научных интересов – утилизация органических отходов, процессы получения экологически чистых энергоносителей. Автор семи публикаций.

E-mail: KamenskihAD@gmail.com

УДК 66.097.3

Е. М. Онучин, А. А. Медяков

НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ НАПОЛНИТЕЛИ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ УСТАНОВОК АНАЭРОБНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

Приводятся результаты экспериментальных исследований формирования наноструктуры наполнителя каталитических систем для установок анаэробной переработки органических отходов. Выявлены зависимости между параметрами технологических процессов, осуществляемых при приготовлении катализаторов, и формируемой ими наноструктурой.

Ключевые слова: каталитическая система, каталитический наполнитель, наноструктурированное покрытие, зондовая микроскопия.

Введение. Переход к нанометровым частицам каталитически активного вещества может вызывать изменение удельной каталитической активности (УКА), которая определяется как скорость реакции в присутствии катализатора, отнесенная к числу поверхностных (доступных) атомов металла. Это свидетельствует о появлении размерного эффекта в структурно-чувствительных каталитических реакциях, скорость которых в отличие от структурно-нечувствительных реакций меняется с изменением среднего размера частиц активного компонента [1].

Изучение особенностей формирования наноструктуры наполнителей каталитических систем для получения катализаторов со строго контролируемыми свойствами позволяет получить более активные (заданный размер частиц) и более селективные (однородное распределение частиц по размерам) катализаторы, тем самым позволяя оптимизировать существующие процессы путем снижения энергозатрат (температура проведения реакции), уменьшения количества вредных выбросов, увеличения выхода ценного продукта и предложить абсолютно новые технологические схемы для переработки нефтехимического и химического сырья, утилизации выбросов различных стационарных источников и транспорта [1].

Использование каталитических устройств в качестве устройств обогрева, предназначенных для поддержания определенной температуры в установках анаэробной переработки органических отходов, позволяет повысить эффективность систем обогрева за счет повышения эффективности процесса горения и сокращения выбросов вредных газов в атмосферу. Непосредственно заменяя традиционные устройства факельного сжигания разрабатываемыми системами, можно повысить эффективность поддержания необходимой температуры в установках анаэробной переработки органических отходов.

Также формирование наноструктурированного каталитически активного покрытия связано с технологией его нанесения, поэтому важным является выявление особенностей формирования оптимальной наноструктуры каталитического покрытия в зависимости от параметров технологических процессов, осуществляемых при его изготовлении.

Цель работы – экспериментально выявить зависимости между параметрами технологических процессов при приготовлении катализаторов и формируемой наноструктуры.

План и результаты экспериментальных исследований особенностей формирования наноструктуры наполнителя каталитических систем. Для создания опытно-экспериментальных образцов катализатора за основу был взят силикагель двух видов: крупный силикагель крупнопористый гранулированный (КСКГ) и крупный силикагель мелкопористый гранулированный (КСМГ).

Для изготовления катализаторов был выбран метод соосаждения [2–4]. С помощью этого метода необходимо получить пленку оксида металла, обладающего каталитической активностью в отношении реакций полного окисления углеводов, на поверхности носителя – силикагеля.

Силикагели обладают выраженной наноструктурой. Средний эффективный диаметр пор силикагелей находится в диапазоне 20–150 Å, а удельная поверхность составляет 102–103 м²/г. Таким образом, нанесение методом соосаждения оксида металла на поверхность, обладающую выраженной наноструктурой, должно позволить создать активную пленку оксидного катализатора, обладающую аналогичной наноструктурой.

Стоит отметить, что силикагели, так же как цеолиты и кварцевый аэрогель, которые также рассматривались в качестве возможных носителей для активного покрытия, обладают стойкостью к составляющим компонентам биогаза, что обуславливает перспективность их использования в каталитических системах для процессов получения биогаза.

Однако формирование каталитически активного оксидного покрытия связано с технологией его нанесения, поэтому важным является выявление особенностей формирования оптимальной наноструктуры каталитического покрытия в зависимости от параметров технологических процессов, осуществляемых при его изготовлении.

Нанесение каталитически активного покрытия осуществлялось в следующей последовательности. Сначала производилось приготовление растворов щелочи и соли металла. Затем производилось сливание этих растворов в присутствии носителя – силикагеля. Поверхность силикагеля выступала в качестве зародышей для формирования твердой фазы осадка гидроокиси металла. Затем носитель извлекался и просушивался на воздухе. После частичной просушки носитель в тиглях помещался в муфельную печь, где осуществлялось его прокалывание до образования оксида металла характерного цвета.

При проведении исследований в качестве активного каталитического покрытия был выбран оксид меди. Для этого в качестве реактивов были выбраны медь сернокислой 5-водной марки (Ч) ГОСТ-4105-78 (CuSO₄) и натрия гидроокись ГОСТ-4328-77 (NaOH). Цель исследований состояла в выявлении особенностей формирования наноструктуры каталитически активного покрытия из оксида меди при различных концентрациях исходных реагентов на различных марках силикагеля.

Таким образом, были выбраны три фактора, в рамках которых проводили экспериментальные исследования: концентрация раствора меди сернокислой, концентрация раствора гидроокиси натрия и марка силикагеля.

Уровни варьирования факторов были выбраны на основе предварительных экспериментов по оценке количества осадка гидроокиси металла при различных концентрациях исходных смесей. Уровни варьирования приведены в табл. 1.

Таблица 1

Уровни варьирования факторов

Уровень варьирования	Концентрация раствора меди сернокислой, %	Концентрация раствора гидроокиси натрия, %	Марка силикагеля
1	1	5	КСМГ
2	5	10	КСКГ
3	10	-	-
4	15	-	-

На основании принятых уровней варьирования факторов был составлен план проведения экспериментальных исследований, представленный в табл. 2.

Приготовление растворов осуществлялось с помощью мензурок с нанесенной шкалой в миллилитрах, а также прецизионных весов Ohaus Adventurer Pro. Размешивание осуществлялось с помощью стеклянных палочек и перемешивающего устройства фирмы Экрос.

Таблица 2

План проведения экспериментальных исследований

Марка силикагеля	Концентрация раствора меди сернокислрой, %	Концентрация раствора гидроокиси натрия, %
КСМГ	1	5
	5	
	10	
	15	
	1	10
	5	
	10	
	15	
КСКГ	1	5
	5	
	10	
	15	
	1	10
	5	
	10	
	15	

Степень растворения реактивов проверялась визуально, размешивание осуществлялось до полного растворения реактивов.

Полученные образцы весьма наглядно представляли влияние концентраций реактивов на количество осажженной гидроокиси меди на поверхности носителя. Все образцы после сливания окрасились в синий цвет, что говорит о наличии гидроокиси меди на поверхности и в порах силикагеля, однако наглядно наблюдалось отличие по насыщенности окраски при изменении любого из исследуемых факторов. Это подтверждает выбранные для эксперимента факторы и уровни их варьирования.

Для силикагеля марки КСКГ был изготовлен только один образец при

концентрации раствора гидроокиси натрия 10 %. Это обусловлено высокой степенью разрушения носителя под действием щелочи выбранной концентрации. Принято не перспективным дальнейшее исследование силикагеля марки КСКГ при концентрации раствора гидроокиси натрия 10 % и более.

После частичного просушивания в помещении образцы прокаливались в муфельной печи при температуре 400 °С в течение 1 часа.

Полученные образцы были исследованы с помощью зондового микроскопа NTEGRA PRIMA BASIC. Для исследований с помощью зондовой микроскопии [5] был составлен упрощенный план эксперимента, приведенный в табл. 3. Результаты исследований с помощью зондовой микроскопии представлены на рис. 1–6.

На рис. 1, 2 приведены результаты сканирования образцов силикагеля марок КСМГ и КСКГ в масштабе 4×4 мкм. На трехмерных изображениях наглядно видна сложная структура силикагелей, однако поверхность силикагеля КСМГ отличается более плавным профилем поверхности, чем силикагель марки КСКГ, что обуславливается большей упорядоченностью ввиду меньшего диаметра пор.

На рис. 2 более наглядно видна структура поверхности. Для силикагеля марки КСКГ поверхность представляет совокупность шариков диаметром около 0,1 мкм, а для силикагеля КСМГ поверхность имеет более гладкую структуру, с ярко выраженными продольными полосами, являющимися следствием изготовления гранул силикагеля.

Таблица 3

Упрощенный план эксперимента

Марка силикагеля	Концентрация раствора меди сернокислрой, %	Концентрация раствора гидроокиси натрия, %
КСМГ	1	10
	15	
КСКГ	1	5
	15	
КСМГ	-	-
КСКГ	-	-

Для силикагеля КСКГ были получены результаты сканирования в масштабе 500×500нм (рис. 3). О наличии пор на поверхности носителя можно судить по величине от-

клонения зонда от общего профиля поверхности носителя. Однако подобные отклонения частично могли быть вызваны помехами, возникающими при сканировании. Изображение практически полностью покрыто отклонениями, что позволяет судить о значительном количестве пор, образующих поверхность носителя.

Так же были получены результаты сканирования для образцов после нанесения каталитически активного покрытия. Для силикагеля КСМГ при концентрации гидроксида натрия 10 % и меди сернокислой 1 и 15 % результаты представлены на рис. 4.

Наглядно видно, что поверхность образца, полученного с использованием раствора меди сернокислой 1 %, отличается большим числом отклонений от профиля объекта, чем образец, полученный с использованием раствора меди сернокислой 15 %. Это позволяет судить о значительном сокращении пор при использовании более концентрированного раствора меди сернокислой, что связано со значительным осаждением покрытия и забиванием пор. Общий профиль поверхностей остается схожим для обоих образцов.

На рис. 5 приведены результаты сканирования для образцов силикагеля КСКГ при концентрации гидроксида натрия 5 % и меди сернокислой 1 и 15 %. Профиль поверхностей образцов отличается, что связано с особенностями выбора области сканирования. Однако величина отклонений у обоих образцов значительна. Это позволяет заключить, что поверхность обоих образцов образована значительным числом пор.

Для образца силикагеля КСКГ при концентрации гидроксида натрия 5 % и меди сернокислой 1 % было произведено сканирование в масштабе 3×3 мкм (рис. 6). Особенностей организации структуры, присущей образцу без покрытия (рис. 1, 2), не выявлено, что позволяет судить об изменении не только наноструктуры носителя-силикагеля, но и об изменении его микроструктуры при приготовлении катализаторов.

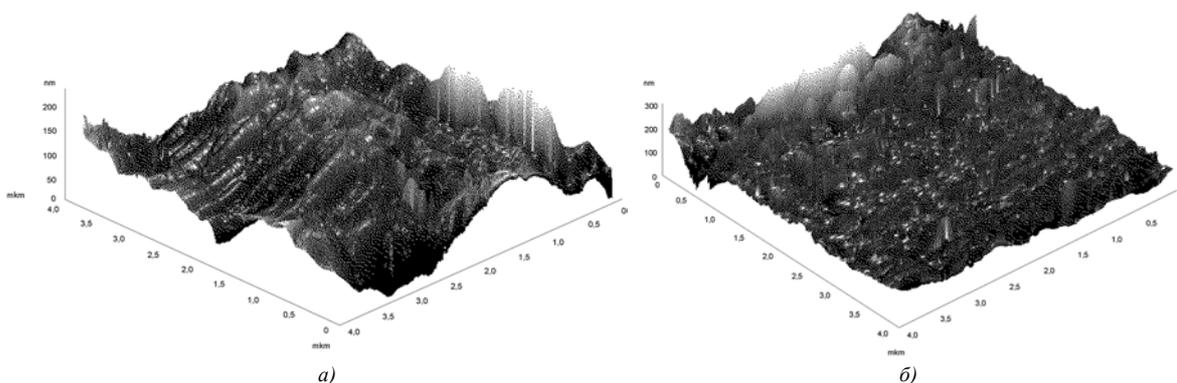


Рис. 1. Результаты сканирования носителей - силикагелей КСМГ (а) и КСКГ (б) без покрытия в 3D

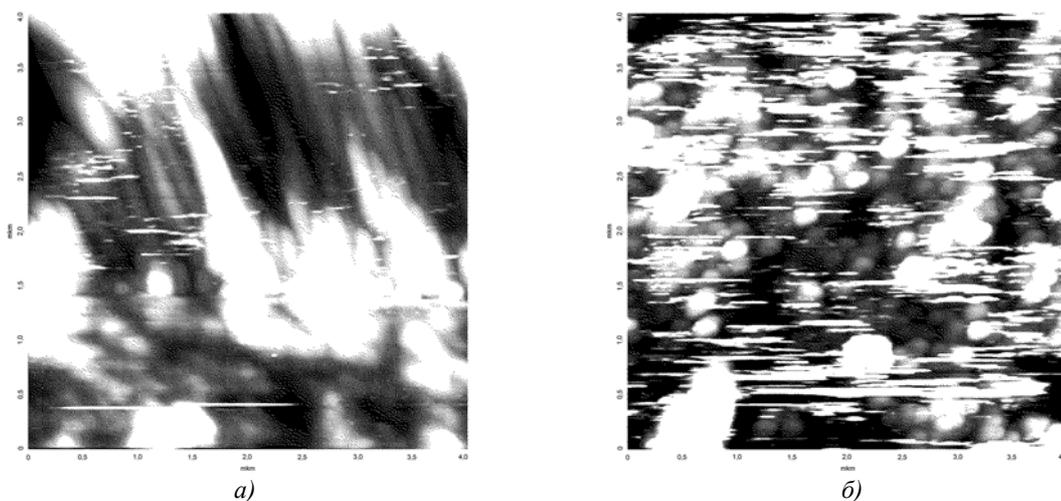


Рис. 2. Результаты сканирования носителей - силикагелей КСМГ (а) и КСКГ (б) без покрытия в 2D

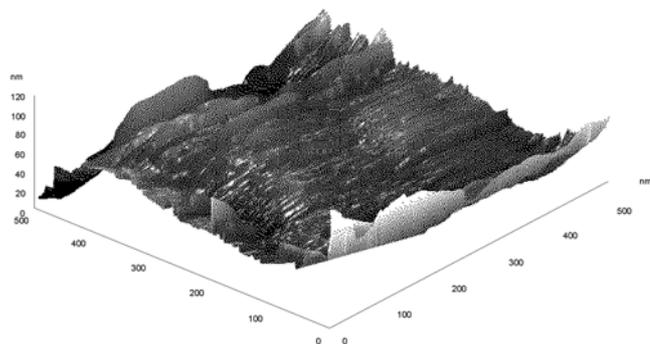


Рис. 3. Результаты сканирования носителя - КСКГ в 3D, масштаб 500×500нм

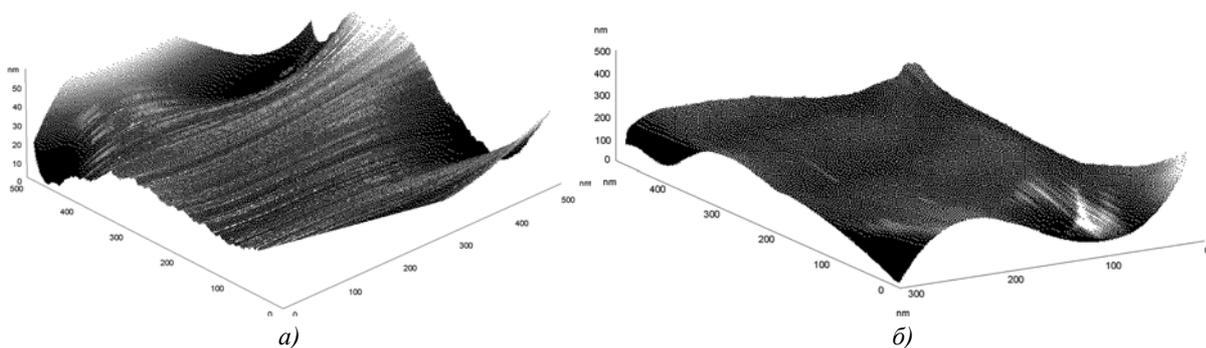


Рис. 4. Результаты сканирования образцов силикагеля КСКГ при концентрации гидроокиси натрия 10 % и меди сернокислой 1 % (а) и 15% (б)

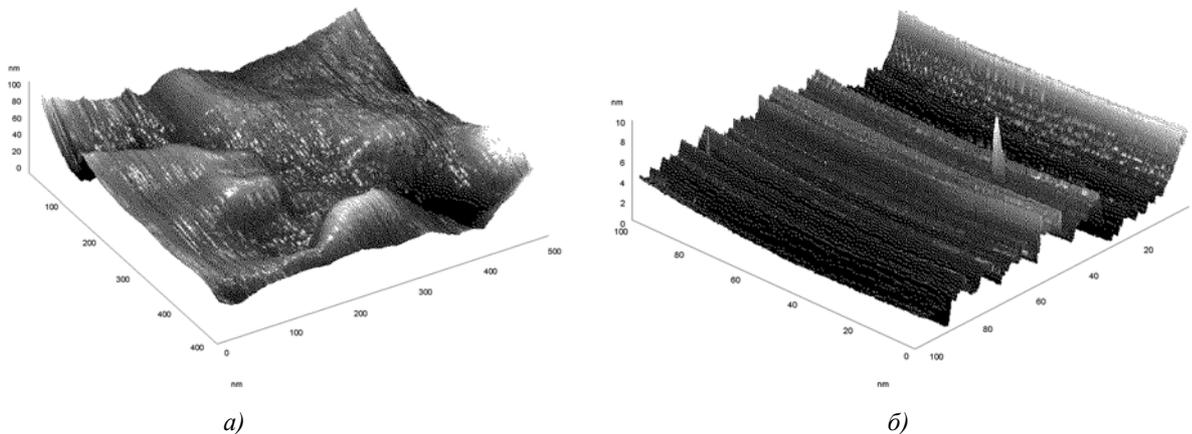


Рис. 5. Результаты сканирования образцов силикагеля КСКГ при концентрации гидроокиси натрия 5 % и меди сернокислой 1 % (а) и 15% (б)

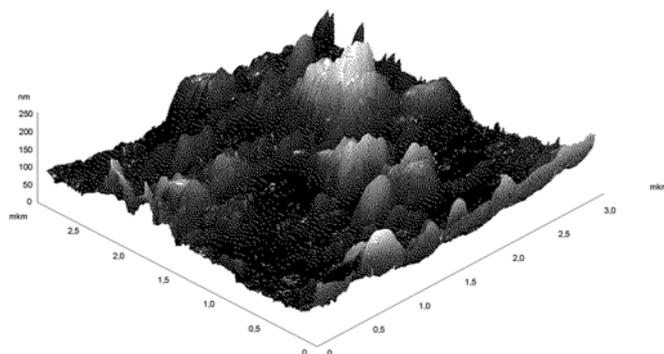


Рис. 6. Результаты сканирования образцов силикагеля КСКГ при концентрации гидроокиси натрия 5 % и меди сернокислой 1 % в масштабе 3×3мкм

Выводы. Проведенные экспериментальные исследования особенностей формирования наноструктуры наполнителя каталитических систем показали наличие явных зависимостей между параметрами технологических процессов, осуществляемых при приготовлении катализаторов, и их формируемой наноструктуры. Таким образом, оптимальная наноструктура каталитически активного покрытия, отличающаяся сохранением значительного числа пор носителя, формируется на поверхности силикагеля-носителя марки КСКГ при использовании для приготовления раствора щелочи малой концентрации ввиду возможности разрушения поверхности носителя щелочью.

Список литературы

1. Бухтияров, В.И. Катализаторы с наноструктурированным активным компонентом. Синтез, исследование и использование в экологии, энергетике и нефтепереработке / В. И. Бухтияров // Сборник тезисов докладов междунар. форума по нанотех. Rusnanotech 08. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://rusnanotech08.rusnanoforum.ru/sadm_files/disk/Docs/1/44/5.pdf свободный (дата обращения: 02.09.11).
2. Боресков, Г.К. Катализ. Вопросы теории и практики. Избранные труды / Боресков Г.К. – Новосибирск: Наука, 1987. – 537 с.
3. Крылов, О. В. Гетерогенный катализ / О. В. Крылов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 679 с.
4. Мухленов, И. П. Технология катализатора / И. П. Мухленов, Е. И. Добкина, В. И. Дерюжкина, В. Е. Сококо. – Л.: Химия, 1989. – 272 с.
5. Миронов, В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии / В. Л. Миронов. – Н.Новгород: ИФМ РАН, 2004. – 110 с.

Статья поступила в редакцию: 12.09.11.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ на оборудовании Центра коллективного пользования «Экология, биотехнологии и процессы получения экологически чистых энергоносителей», ГС №16.552.11.7050 от 29.07.2011 года.

Е. М. Onuchin, А. А. Medyakov

NANOSTRUCTURED FILLERS OF CATALYTIC SYSTEMS FOR PLANTS OF ANAEROBIC DIGESTION OF ORGANIC WASTE

The results of experimental studies of nanostructure formation of catalytic system filler for the plants of anaerobic digestion of organic waste are presented. Dependence between the parameters of technological processes in the process of catalysts preparation, and formed with it nanostructure are revealed.

Key words: *catalytic system, catalytic filler, nanostructured coverage, probe microscopy.*

ОНУЧИН Евгений Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации машин и оборудования МарГТУ. Область научных интересов – проблемы проектирования машинно-технологического комплекса для лесопользования и утилизации органических отходов с сопутствующим получением энергоносителей. Автор 53 публикаций.

E-mail: OnuchinEM@marstu.net

МЕДЯКОВ Андрей Андреевич – ассистент кафедры эксплуатации машин и оборудования МарГТУ. Область научных интересов – утилизация органических отходов, процессы получения экологически чистых энергоносителей. Автор 13 публикаций.

E-mail: MedyakovAA@marstu.net

УДК 502.175:502.51

*Г. П. Дробот, В. С. Трубачева, О. В. Малюта,
С. Г. Васин, О. И. Павловская*

ГИСТО-МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕЧЕНИ РЫБ КАК БИОИНДИКАТОРЫ КАЧЕСТВА ВОДНОЙ СРЕДЫ

*Морфометрические и гистологические исследования печени карася обыкновенного (*Carassius carassius* L.), обитающего в водоемах Среднего Поволжья, позволили выявить патоморфологические изменения и сдвиги морфометрических параметров этого органа у карася обыкновенного в одном из водоемов, что косвенно свидетельствует о неблагоприятных условиях среды обитания, сложившихся в этом водоеме для данного вида рыб.*

Ключевые слова: биомониторинг, биоиндикация загрязнения, морфология, гистология.

Введение. Неуклонное возрастание антропогенного воздействия на гидросферу приводит к возникновению серьезных отклонений в развитии и функционировании гидробионтов [1, 2]. Для оценки изменений, происходящих в открытых водных экосистемах, не так часто используются рыбы, так как они способны к многокилометровым миграциям и индикация загрязнений по ним достаточно сложна. Анатомические и морфологические характеристики рыб на популяционном и организменном уровнях используются в качестве индикаторов загрязнения закрытых водоемов [1–4]. Данные параметры способны отражать динамику деградации экосистем, поскольку органы рыб характеризуются избирательным накоплением ксенобиотиков, включающихся в биологический круговорот.

При этом загрязняющие экосистемы вещества, как правило, аккумулируются в органах с интенсивными биохимическими процессами – в почках, эндокринных железах, желудочно-кишечном тракте, печени. В настоящее время исследования структурно-функциональных изменений в печени животных приобретают определенное значение для оценки здоровья их среды обитания. К сожалению, таких исследований пока недостаточно, а печень для биоиндикационных исследований привлекается относительно редко [5].

В связи с вышеизложенным **цель** проводимого исследования заключалась в изучении гистологических и морфометрических особенностей печени карася обыкновенного (*Carassius carassius* L.), обитающего в некоторых закрытых водоемах Среднего Поволжья, с разной степенью антропогенной нагрузки и оценке биоиндикаторной ценности анализируемых гисто-морфометрических параметров. Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

- 1) провести гисто-морфометрическое исследование печени карася обыкновенного;
- 2) провести классификацию особей рыб по комплексу изученных признаков;
- 3) оценить степень изменчивости величин показателей исследуемых структур;
- 4) определяя состояние печени рыб, установить возможное влияние на них среды обитания;
- 5) оценить биоиндикаторную ценность гисто-морфометрических параметров рыб.

Материалы и методы исследования. Объектом исследования служила печень карася обыкновенного (*Carassius carassius* L.), отловленного в водоемах Среднего Поволжья: оз. Паленое (Республика Марий Эл – 5 особей), оз. Дубовое (Республика Мордовия – 3 особи), водоем, прилегающий к с. Тарханы (Пензенская область – 7 особей).

Все пойманные рыбы имели приблизительно одинаковый линейный размер – длину 16 см. Для изготовления гистологических препаратов (парафиновые срезы, 5 мкм) использовали стандартные методики [6]. Для обзорной окраски срезов применяли гематоксилин Караччи и эозин; нейтральные полисахариды выявляли ШИК-реакцией (контроль с α -амилазой) [7]. Для морфометрического анализа печени использовали винтовой окуляр-микрометр МОВ-1-15х ГОСТ 7865-56, с помощью которого определяли диаметры гепатоцитов, их ядер и ядрышек. Замеры проводили на срезах печени каждой особи, морфометрируя по 50 ядер, ядрышек и гепатоцитов. Для подсчета количества митозов (митотический индекс), долей клеток с микроядрами и двуядерных клеток использовали унифицированный метод Фолио [8], учитывая в каждом случае по 1000 клеток у каждого животного. Измеряли площадь паренхимы печени в среднем на одно поле зрения, используя окулярную сетку Автандилова, анализируя 25 полей зрения среза печени для каждого животного [9].

Полученные результаты обрабатывали статистически, определяя различия показателей печени рыб при помощи компьютерной программы Statistica 6.0, используя однофакторный дисперсионный анализ (модель I). Множественные сравнения средних значений изученных показателей проводили с помощью LSD-теста. Для учета комплекса признаков и распределения исследуемых особей рыб на группы прибегали к многомерной статистике, привлекая метод главных компонент и дискриминантный анализ [10]. Для оценки изменчивости признаков применяли двухфакторный (иерархическая схема, модель II) дисперсионный анализ.

Результаты исследования и обсуждение. Проведенные гистологические исследования печени карася обыкновенного (*Carassius carassius* L.), обитающего в водоемах Дубовое и Тарханы, выявили определенные отклонения в структуре данного органа по сравнению с печенью рыб из оз.Паленое (рис.1).

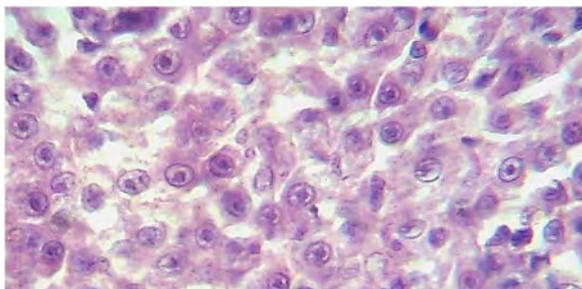


Рис.1. Гепатоциты печени (*Carassius carassius* L.) в норме, оз. Паленое

Так, в печени рыб из оз. Дубовое и пруда Тарханы обнаружены некрозы и дистрофия гепатоцитов (рис. 2, 3); очаги скопления двуядерных клеток; наблюдается снижение количества клеток с гликогеном (ШИК-реакция). В отдельных участках органов отмечается пролиферация купферовских клеток.

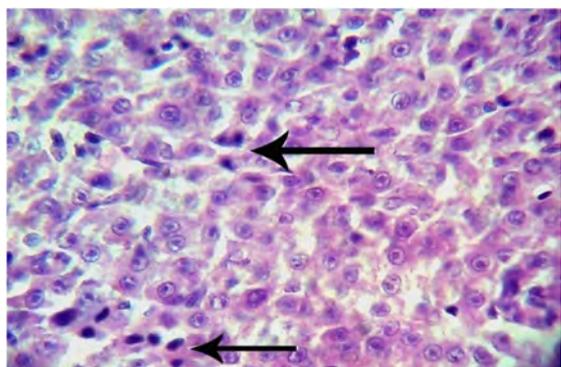


Рис. 2. Очаги некрозов (указаны стрелками) в печени *Carassius carassius* L.

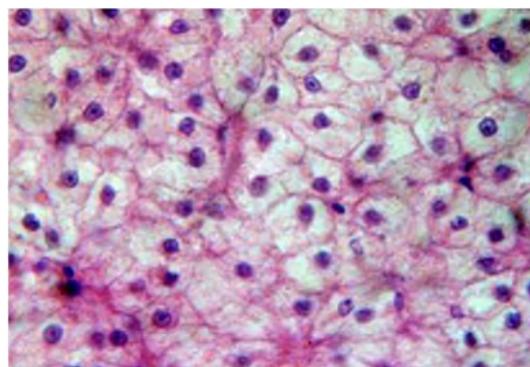


Рис. 3. Очаги вакуольной дистрофии в печени *Carassius carassius* L.

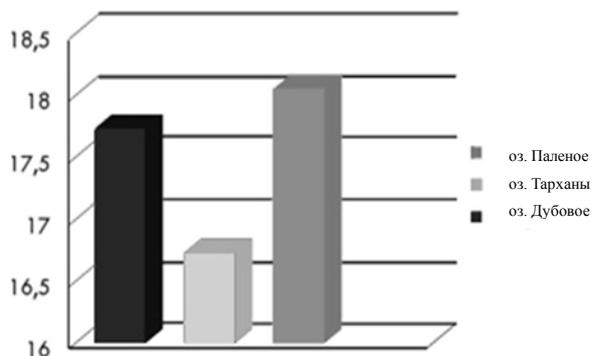


Рис. 4. Величина диаметра гепатоцитов, мкм

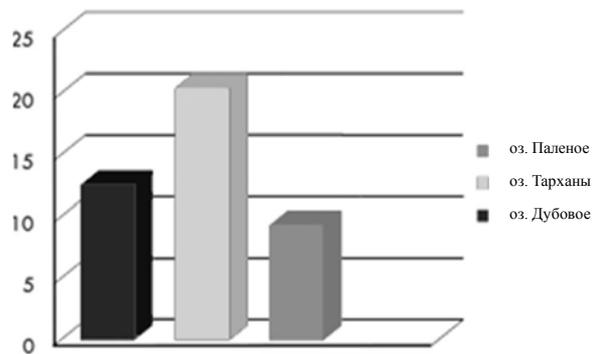


Рис. 5. Доля двуядерных гепатоцитов, %

Обнаруженные нами в печени рыб многочисленные очаги некрозов мы также рассматриваем как патологию. По данным ряда авторов [11,12], некрозы гепатоцитов в печени рыб встречаются довольно часто и являются либо результатом загрязнения вод тяжелыми металлами, либо следствием паразитарных инвазий. На исследованных нами препаратах очаги некротически измененных клеток визуально чаще определялись в печени карася из оз. Тарханы, что косвенно может свидетельствовать о более жестких условиях среды обитания в этом водоеме. В ходе морфометрического анализа установлено, что наименьший диаметр имеют гепатоциты печени рыб из оз. Тарханы (рис. 4).

Наблюдаемая картина уменьшения диаметра клеток печени, по-видимому, является проявлением процессов декомпенсации. Возможно, что среда обитания в водоеме Тарханы неблагоприятно влияет на его гидробионтов, вызывая патоморфологические изменения такого важного органа как печень. В то же время нами установлено статистически значимое увеличение доли двуядерных клеток и размеров площади паренхимы печени рыб, обитающих в водоемах Тарханы и Дубовое, по сравнению с таковыми печени рыб, отловленных в оз. Паленое (рис. 5).

Наблюдаемая дистрофия гепатоцитов – патологический процесс, возникающий, как правило, в связи с нарушениями обмена веществ в клетках и характеризующийся наличием в клетках крупных вакуолей, наполненных цитоплазматической жидкостью (баллонная дистрофия). Данная форма дистрофии является необратимой.

Возможно, что увеличение размеров площади паренхимы печени рыб из этих озер обусловлено общей активацией пролиферативных процессов в данном органе, в том числе – усилением пролиферации купферовских клеток.

Многофакторный анализ с использованием метода главных компонент (табл. 1) выявил наличие четырех главных компонент. С первой главной компонентой положительно скоррелированы диаметр ядер (0,79), диаметр ядрышек (0,88) и отрицательно скоррелирован признак митотический индекс (-0,73). Со второй главной компонентой отрицательно скоррелированы доля двуядерных клеток (-0,69) и площадь паренхимы (-0,69). С третьей главной компонентой положительно скоррелирован размер гепатоцитов (0,72) и отрицательно – доля микроядер (-0,69). С четвертой главной компонентой отрицательно скоррелирован признак «доля ШИК-положительных клеток» (-0,71) и положительно скоррелирован признак «доля двуядерных клеток» (0,56). Доля изменчивости, приходящаяся на первую главную компоненту, составила 27 %, на вторую главную компоненту – 24 %, а на третью и четвертую главные компоненты – 15 и 13 % соответственно. Таким образом, общая доля изменчивости четырех главных компонент составила 79 %.

При сравнении особей рыб в осях главных компонент установлено, что по совокупности признаков рыбы изученных озер не разделились по главным компонентам I, III и IV (рис.6).

Т а б л и ц а 1

Корреляция главных компонент с исходными признаками

Признаки	Главные компоненты			
	1	2	3	4
Диаметр ядер	0,79	-0,31	0,13	-0,26
Диаметр ядрышек	0,88	-0,24	-0,15	-0,23
Диаметр гепатоцитов	0,25	0,51	0,72	0,03
Доля двоядерных гепатоцитов	-0,07	-0,69	-0,11	0,56
Площадь паренхимы	0,02	-0,69	-0,14	-0,01
Доля ШИК-положительных клеток	-0,34	-0,46	0,15	-0,71
Митотический индекс	-0,73	-0,32	0,34	-0,19
Доля клеток с микроядрами	-0,19	0,52	-0,69	-0,31
Абсолютное значение изменчивости	2,15	1,94	1,19	1,08
% изменчивости главных компонент	27,0	24,0	15,0	13,0

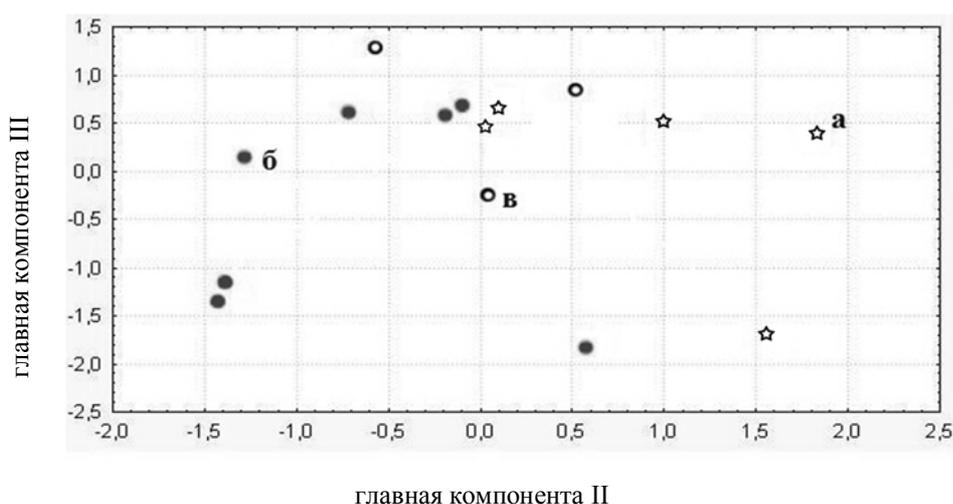


Рис. 6. Положение объектов на осях главных компонент:
a – рыбы из оз. Паленое; *б* – рыбы из водоема Тарханы; *в* – рыбы из оз. Дубовое

В соответствии с рис. 6 наблюдается различие по второй главной компоненте между рыбами из оз. Паленое и Тарханы ($U=2$; $P=0,01$). Рыбы из оз. Дубовое по совокупности признаков занимают промежуточное положение между рыбами двух других озер.

Полученные данные привели к необходимости сравнения параметров второй главной компоненты рыб оз. Паленое (первая выборка) и водоема Тарханы (вторая выборка), выявив между ними значимые различия ($p=0,01$; критерий Вилкоксона-Манна-Уитни). В дальнейшем для уточнения классификации объектов прибегали к дискриминантному анализу, используя значения II и III главных компонент, и к парному сравнению параметров печени рыб из разных озер (табл. 2, 3; Статистика Уилкса $\lambda = 0,409$; $F(4,22) = 3,1$; $p = 0,037$). Из таблицы видно, что печень рыб из разных озер различается по II главной компоненте ($p = 0,016$).

Т а б л и ц а 2

Оценка значимости главных компонент, выбранных для анализа

Главные компоненты	λ (Уилкс)	λ (частная)	F	P	R^2 (объясняющей переменной)
Главная компонента II	0,86	0,47	6,10	0,016	0,039
Главная компонента III	0,49	0,83	1,13	0,358	0,039

В результате парных сравнений параметров печени рыб из разных озер, представленных в табл. 3, статистически значимо различаются только рыбы оз. Паленое и оз. Тарханы ($P=0,012$).

Таблица 3

Результаты парных сравнений показателей печени рыб из разных озер

Озера	Паленое	Тарханы	Дубовое
Паленое		6,108859*	1,938308
Тарханы	6,719745*		2,50795
Дубовое	1,184522	1,724216	

* $P < 0,05$. Ниже главной диагонали приведены значения критерия Фишера, выше главной диагонали – значения расстояния Махаланобиса.

Таким образом, при использовании метода главных компонент и дискриминантного анализа было установлено, что рыбы, обитающие в водоеме Тарханы, по совокупности морфометрических признаков печени составляют отдельную группу и четко отличаются от рыб оз. Паленое. Особи же рыб, отловленные в оз. Дубовое, занимают промежуточное положение. Такая картина, вероятнее всего, связана с недостаточностью выборки, особенно среди рыб оз. Дубовое.

При анализе степени изменчивости величин изученных признаков установлено, что у рыб одного водоема, а также внутри каждой особи рыб отмечаются их высокие уровни соответственно внутривидовой и индивидуальной изменчивости. В то же время изменчивость признаков рыб из разных водоемов минимальна. Эти факты, на наш взгляд, говорят о достаточной пластичности данного органа и его значительных резервных возможностях при повреждениях, подтверждая эволюционное определение печени как системы детоксикации организма [13].

Для определения биоиндикационной ценности гисто-морфометрических параметров печени рыб было проведено исследование физико-химических показателей донных отложений водоемов. В соответствии с табл. 4 и 5 наибольшее содержание техногенных радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs обнаружено в донных отложениях озер Дубовое и Тарханы, наименьшее – из оз. Паленое (фоновая территория) [14]. Последующий анализ донных отложений исследуемых озер на содержание тяжелых металлов [15] показал более высокие концентрации ряда (пять – из восьми определяемых) тяжелых металлов (Pb, Zn, Co, Cd, Cr) в образцах из водоема Тарханы. К тому же, значение pH свидетельствует о более кислой реакции среды в данном водоеме.

Таблица 4

Содержание природных и техногенных радионуклидов в донных отложениях озер

Объекты	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг					
	Sr 90	K 40 β	K 40 γ	Cs 137	Ra 226	Th 232
оз.Дубовое	16,6±0,62	0	266±3,03	55,7±0,24	10,9±0,27	24,5±0,34
оз.Тарханы	10,2±0,52	592±0,28	497±0,27	32,6±0,13	26,2±0,23	41,4±0,28
оз.Паленое	1,97±0,1	0	35,2±6,9	9,4±0,1	3,7±0,8	3,8±0,5

Таблица 5

Содержание тяжелых металлов в донных отложениях озер

Объекты	pH сол.	Содержание тяжелых металлов, мг/кг							
		Ni	Pb	Zn	Cu	Co	Cd	Cr	Mn
оз.Паленое	6,30	4,55	0,06	152,20	5,70	6,15	1,05	2,50	375,6
оз.Тарханы	5,02	31,90	13,24	196,75	20,45	19,55	1,45	21,75	357,6
оз.Дубовое	5,50	47,65	10,84	84,65	25,45	18,00	1,30	10,75	311,7

Таким образом, по комплексу факторов, гидробиота в водоеме Тарханы, по-видимому, испытывает наибольшую антропогенную нагрузку по сравнению с другими озерами.

Проведенные исследования позволили сделать следующие **выводы**:

1) в паренхиме печени карася обыкновенного (*Carassius Carassius* L.), обитающего в водоемах Дубовое и Тарханы, наблюдаются патологические изменения в виде пикноза ядер, некрозов и дистрофии гепатоцитов;

2) в печени рыб, обитающих в пруду Тарханы, величины диаметра гепатоцитов и доля двуядерных клеток значительно отличаются от величин аналогичных показателей рыб из озер Дубовое и Паленое;

3) изменчивость морфометрических признаков печени между особями карася обыкновенного из водоемов Дубовое, Паленое и Тарханы минимальна, но значительна между особями рыб в каждом из озер по параметрам диаметра ядер и ядрышек (61,2–75,3 %). Для величин диаметра гепатоцитов, долей двуядерных и ШИК-положительных клеток, площади паренхимы печени наибольшая доля изменчивости приходится на неконтролируемую изменчивость в пределах особи (57,4–85,9 %);

4) особи карася обыкновенного из водоема Тарханы отличаются от рыб из озер Дубовое и Паленое по совокупности гисто-морфометрических признаков их печени, что косвенно свидетельствует о более жестких условиях среды обитания в пруду Тарханы;

5) гисто-морфометрические параметры рыб целесообразно использовать для биоиндикации антропогенного загрязнения закрытых водоемов.

Таким образом, рыбы из водоема, испытывающего комплексное антропогенное воздействие, достоверно отличаются по наличию патологий на тканевом уровне.

Выполненные нами исследования указывают на необходимость более детального изучения анализируемых водоемов с увеличением выборки и расширением биоиндикаторов и анализируемых органов, поскольку действие загрязняющих веществ на разные органы и их системы неодинаково, зависит от свойств поллютанта, от функциональных особенностей органов и может характеризоваться видоспецифичностью.

Список литературы

1. Кашулин, Н.А. Рыбы пресных вод субарктики как биоиндикаторы техногенного загрязнения / Н.А. Кашулин, А.А. Лукин, П.А. Амундсен. – Апатиты: КНЦ РАН, 1999. – 142 с.
2. Моисеенко, Т.И. Изменение физиологических показателей рыб как индикатор качества вод среды / Т.И. Моисеенко // Мониторинг природной среды Кольского Севера. – Апатиты: КНЦ РАН, 1984. – С. 51-57.
3. Лукьяненко, В.И. Общая ихтиотоксикология / В.И. Лукьяненко. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 320 с.
4. Ашихмина, Т.Я. Биоиндикация и биотестирование: методы познания экологического состояния окружающей среды / Т. Я. Ашихмина. – Киров: ВятГУ, 2005. – Вып. 4. Ч. 3. – 51 с.
5. Трубачева, В.С. Морфология тонкого кишечника и печени щуки обыкновенной из водоемов с различным уровнем загрязненности / В.С. Трубачева, Г.П. Дробот, А.И. Ямбаршева, А.Р. Ахмедшина // 4-е Вавиловские чтения. Диалог науки и практики в поисках новой парадигмы общественного развития России в новом тысячелетии: Материалы постоянно действующей Всероссийской междисциплинарной научной конференции. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2000. – Ч. III. – С. 111-112.
6. Меркулов, Г.А. Курс патологической техники / Г.А. Меркулов. – Л.: Медицина, 1969. – 399 с.
7. Кононский, А.И. Гистохимия / А.И. Кононский. – Киев: Вища школа, 1976. – 280 с.
8. Справочник по клиническим и лабораторным методам исследования / под ред. Е.А. Кост. – М.: Медицина, 1975. – 383 с.
9. Автандилов, Г.Г. Медицинская морфометрия / Г.Г. Автандилов. – М.: Медицина, 1990. – 218 с.
10. Юнкеров, В.И. Математико-статистическая обработка медицинских исследований / В.И. Юнкеров, С.Г. Григорьев. – СПб.: ВМедА, 2002. – 266 с.
11. Tramp, B.F. Cellular effects of mercury on fish kidney tubules / B.F. Tramp, R.T. Jones, S. Sahaphong // The Pathology of Fishes. – Wash. Univ. Wisconsin Press. – 1975. – P. 585-612.
12. Hibiya, E.T. An Atlas of Fish Histology: Normal and Pathological Features / E.T. Hibiya. – N.Y.: Kodansha Ltd, 1996. – 147 p.

13. Adams, S.M. A comparison of health assessment approaches for evaluating the effects of contaminant-related stress on fish populations / S.M. Adams, M. G. Ryon // J. of Aquatic Ecosystem Health. – 1994. – Vol. 3. – P. 15–25.

14. Методика измерения активности радионуклидов в счетных образцах на сцинтилляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения «Прогресс». – М.: ВНИИФТРИ, – 1996.–37 с.

15. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства. – 2-е изд., перераб. и доп./ ЦИНАО.– М., 1992. – 38 с.

Статья поступила в редакцию 16.09.11.

Исследования проведены при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, ГК № 16. 552.11.7050.

G. P. Drobot, V. S. Trubacheva, O. V. Maluta,
S. G. Vasin, O. I. Pavlovskaya

HISTO-MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF FISH LIVER AS BIOINDICATORS OF WATER ENVIRONMENT QUALITY

Morphometric and histological studies of the liver of an ordinary carp (Carassius carassius L.), inhabiting the ponds of the Middle Volga, allowed to identify pathomorphological changes and changes in morphometric parameters of the organ of an ordinary carp inhabiting one of the ponds. This is an indirect evidence of difficult environmental conditions of habitation in the pond for this fish species.

Key words: biomonitoring, bioindication of pollution, morphology, histology.

ДРОБОТ Галина Павловна – кандидат биологических наук, доцент, заведующая кафедрой биохимии и физиологии биолого-химического факультета Марийского государственного университета. Область научных интересов – эмбриология, гистология, биомониторинг. Автор 97 публикаций.

E-mail: droga59@mail.ru

ТРУБАЧЕВА Вера Сергеевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры биохимии и физиологии биолого-химического факультета Марийского государственного университета. Область научных интересов – эмбриология, гистология, биомониторинг, физиология. Автор 127 публикаций.

E-mail: vera.trubachova@gmail.com

МАЛЮТА Ольга Васильевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии, почвоведения и природопользования МарГТУ. Область научных интересов – экологический мониторинг, биоиндикация, биотестирование, радиоэкология. Автор 63 публикаций.

E-mail: olgamal@list.ru

ВАСИН Сергей Геннадьевич – аспирант кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ МарГТУ. Область научных интересов – радиоэкология. Автор 10 публикаций.

E-mail: vasinsg@mail.ru

ПАВЛОВСКАЯ Ольга Игоревна – студентка Марийского государственного университета. Область научных интересов – эмбриология, гистология. Автор одной публикации.

E-mail: o_ji_e_h_b_k_a@inbox.ru

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

УДК 378:630*9

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЛЕСНОГО ОБРАЗОВАНИЯ: ИНТЕГРАЦИЯ ВУЗОВ ЕВРОПЫ И РОССИИ В ПРОГРАММЕ ТЕМПУС-IV

В МарГТУ 14–16 ноября прошло первое координационное совещание по международному проекту Темпус-IV «**Рамка квалификации и непрерывное обучение для устойчивого лесопользования**», поддержанному Исполнительным Агентством Европейской Комиссии по образованию, аудиовизуальным средствам и культуре (ЕАСЕА, Брюссель). В МарГТУ (российский координатор) собрались все участники проекта, что говорит об их высоком интересе и готовности его выполнения. В профессиональный консорциум входят 16 участников и много других дополнительных приглашенных организаций. От России его представляют: Московский государственный университет леса, Санкт-Петербургская лесотехническая академия, Башкирский государственный аграрный университет, Воронежская государственная лесотехническая академия, Уральский государственный лесотехнический университет, Министерство лесного хозяйства РМЭ, Фонд экологических инициатив РМЭ, Гильдия экспертов в сфере профессионального образования. От Европейского союза в проекте участвуют: университеты Хельсинки (Финляндия), Падуи (Италия), Копенгагена (Дания), БОКУ (Австрия), Аристотеля (Греция), науки и технологий г. Лилль (Франция) и Европейский институт леса (Финляндия). Среди приглашенных организаций были представители министерства Республики Чувашии, национального парка «Чаваш Вармане», директора лесхозов республик Марий Эл и Чувашии.

Проект направлен на повышение качества лесного образования в России с учетом опыта и достижений ведущих европейских вузов. Мероприятия в рамках проекта направлены на приближение российских образовательных программ ВПО (бакалавриат, магистратура, аспирантура) к образовательным стандартам Европейского союза, основанных на принципах интеграции, компетенции, непрерывного образования и международной мобильности. Зарубежные участники семинара представили презентации о деятельности своих организаций, а также существующих рамках квалификаций и продолженном обучении в ЕС. Консорциум принял решение о ближайших видеосеминарах, повышении квалификации российских участников в европейских вузах и компаниях, а также академической мобильности аспирантов.

Несомненно, сотрудничество с ведущими вузами Европы и России позволит МарГТУ сделать очередной шаг по развитию принципов Болонских соглашений, усилив интеграцию в европейское образовательное пространство. Одновременно повысится планка проводимых вузом научных исследований, укрепится связь с производством и, конечно же, еще более улучшится качество предоставляемых образовательных услуг.

Э. А. Курбанов

Статья поступила в редакцию 28.11.11.

E. A. Kurbanov

FOREST EDUCATION QUALITY IMPROVEMENT: EUROPEAN AND RUSSIAN UNIVERSITIES INTEGRATION IN TEMPUS-IV PROGRAM

*On 14-16 November the first coordination meeting in international project Tempus-IV «**Qualifications framework and continuous education for sustainable forest management**» was held in MarSTU. The meeting was supported by Education, Audiovisual and Culture Executive Agency (EACEA, Brussels). The project is intended to improve quality of education in forest sector in Russia with the account of experience and achievements of the leading European Institutions of Higher Education.*

КУРБАНОВ Эльдар Аликрамович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства МарГТУ, руководитель Центра устойчивого управления лесами. Область научных интересов – устойчивое управление лесами, биологическая продуктивность лесных экосистем, депонирование углерода лесными экосистемами, дистанционное зондирование земли, леса Киото. Автор более 100 публикаций, в том числе учебно-методических работ.

E-mail: kurbanovea@marstu.net

© Курбанов Э. А., 2011.

УКАЗАТЕЛЬ МАТЕРИАЛОВ,
ОПУБЛИКОВАННЫХ
В ЖУРНАЛЕ В 2011 ГОДУ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Н. Н. Бессчетнова. К методике определения периода критического обезвоживания хвой плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.)

2

Ю. П. Демаков, А. Е. Smykov, Н. Н. Гаврицкова. Структура, продуктивность и динамика осинников Республики Марий Эл

2

Ю. П. Демаков, С. М. Швецов, В. И. Таланцев, К. К. Калинин. Динамика содержания зольных элементов в годичных слоях старовозрастных сосен, произрастающих в пойменных биотопах

3

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

1

М. В. Ермакова, Н. С. Иванова. Особенности структуры молодняков *Pinus sylvestris* L. искусственного и естественного происхождения на вырубках Среднего Урала

2

В. И. Казаков, А. В. Чукарина. Особенности усовершенствованной технологии выращивания сеянцев сосны в условиях степного Придонья

1

А. В. Кобяков, С. Л. Рысин. Опыт разработки перспективных типов лесных культур для урбанизированных территорий

2

Э. А. Курбанов, Т. В. Нурева, О. Н. Воробьев, А. В. Губаев, С. А. Лезнин, Т. Ф. Мифтахов, С. А. Незамаев, Ю. А. Полевщикова. Дистанционный мониторинг динамики нарушений лесного покрова, лесовозобновления и лесовосстановления в Марийском Заволжье

3

А. А. Мамаев, Е. М. Романов, Д. И. Мухортов. Оценка эффективности использования элементов питания сеянцами древесных растений на слабо-окультуренных дерново-подзолистых почвах

1

Р. Н. Матвеева, О. Ф. Буторова, Н. М. Уфимцева. Рост кедра сибирского на ПЛСУ, формируемом в лесных культурах

1

Е. М. Романов, Е. М. Онучин. Подходы к разработке и исследованию инновационной системы эффективного устойчивого лесопользования и лесовосстановления

3

В. Л. Черных, В. П. Бессчетнов, Е. С. Вдовин. Динамика лесных страт и точность оценки запаса на примере инвентаризации лесов Учебно-опытного лесничества Республики Марий Эл

3

В. Л. Черных, Е. С. Вдовин, Д. М. Ворожцов. Совершенствование методики выборочной таксации запаса древостоев на примере Учебно-опытного лесничества Республики Марий Эл

1

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ
ЛЕСНОГО ДЕЛА

М. В. Боярский, О. Г. Тарасова. Диагностирование пиломатериалов и лесопильного оборудования (на базе двухэтажной лесопильной рамы)

3

LIST OF MATERIALS
PUBLISHED IN
MarSTU REPORTER IN 2011

FORESTRY

N. N. Besschetnova. To the methods of critical water loss determination of the needles of plus trees of scotch pine (*Pinus sylvestris* L.)

2

Yu. P. Demakov, A. E. Smykov, N. N. Gavrickova. Structure, productivity and dynamics of Mari El Republic aspen forests

2

Yu. P. Demakov, S. M. Shvetsov, V. I. Talantsev, K. K. Kalinin. Dynamics of ash constituents content in annual rings of old-growth pines growing at the floodplain biotopes

3

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

1

M. V. Ermakova, N. S. Ivanova. Structures peculiarities of *Pinus sylvestris* L. young growth of artificial and natural origin at the fellings of the Middle Urals

2

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

1

A. V. Kobayakov, S. L. Rysin. Experience of long-term types forest plantations development for urban territories

2

E. A. Kurbanov, T. V. Nureeva, O. N. Vorobyev, A. V. Gubayev, S. A. Leznin, T. F. Miftakhov, S. A. Nezamayev, Y. A. Polevshikova. Remote monitoring of disturbances in forest cover, reforestation and afforestation of Mari Zavolzhe

3

A. A. Mamaev, E. M. Romanov, D. I. Mukhortov. Efficiency estimation of fertilizer elements use with woody plants seedlings on low-cultivated sod-podzolic soils

1

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

1

E. M. Romanov, E. M. Onuchin. Approaches to development and research of innovative system of effective sustainable forest management and reforestation

3

V. L. Chernykh, V. P. Besschetnov, E. S. Vdovin. Forest stratum dynamics and wood stock estimation accuracy on the example of forest inventory of Mari El Republic Scientific-experimental forestry

3

V. L. Chernykh, E. S. Vdovin, D. M. Vorozhtsov. Perfection methods of forest stands stocks selective taxation on the example of Mari El Republic Scientific-experimental forestry

1

FORESTRY TECHNOLOGIES
AND MACHINES

M. V. Boyarsky, O. G. Tarasova. Saw timber and sawmill equipment diagnostics (on the basis of double-level saw frame)

3

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

И. В. Григорьев, М. В. Цыгарова, А. И. Жукова, Д. В. Лепилин, Г. Ю. Есин. Планирование эксперимента при исследовании взаимодействия трелевочной системы с волоком

А. В. Егоров. Инерционный метод оценки энергетической эффективности гусеничных лесных машин

Е. М. Онучин, В. А. Грязин. Адаптивно-модульные технические средства для лесного комплекса

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

С. В. Фокин. К обоснованию параметров и режимов работы устройства для измельчения порубочных остатков

А. Н. Чемоданов, М. В. Боярский, Рен. Х. Гайнуллин, Рииш. Х. Гайнуллин. О точности определения усилия резания при продольном строгании древесины

Ю. А. Ширнин, А. Ю. Ширнин, А. Ю. Моржанов, И. В. Зверев. Моделирование энергозатрат при комбинированной трелевке древесины адаптивно-модульными машинами

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Р. И. Винокурова, О. В. Лобанова. Специфичность распределения макроэлементов в органах древесных растений елово-пихтовых лесов Республики Марий Эл

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

Ю. П. Демаков, И. И. Митякова. Пространственная неоднородность почвенного агрофона лесного питомника и ее влияние на биометрические показатели сеянцев

Г. П. Дробот, В. С. Трубачева, О. В. Малюта, С. Г. Васин, О. И. Павловская. Гисто-морфометрические характеристики печени рыб как биоиндикаторы качества водной среды

Д. В. Кочкин, А. М. Носов. Кислые эфиры гинзенозидов в суспензионной культуре клеток *panax japonicus* var. *repens*

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

А. А. Медяков, А. Д. Каменских. Разработка новых каталитических систем для процессов получения биогаза

П. С. Новиков, О. В. Шейкина, Т. Н. Милютина. Изменчивость плюсовых деревьев сосны обыкновенной на архиве клонов по ISSR-маркерам

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

I. V. Grigoriev, M. V. Tsygarova, A. I. Zhukova, D. V. Lepilin, G. Yu. Esin. Design of experiment in the research of interaction of logging system with logway

A. V. Egorov. Inertial method of track-type forest vehicles energetic efficiency assessment

E. M. Onuchin, V. A. Gryazin. Adaptive-modular equipment for forestry complex

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

S. V. Fokin. To the problem of substantiation of parameters and modes of work of the device for forest residues chopping

A. N. Chemodanov, M. V. Boyarsky, Ren. Kh. Gainullin, Rish. Kh. Gainullin. To the question on accuracy of woodcutting force definition at longitudinal planing

Yu. A. Shirnin, A. Yu. Shirnin, A. Yu. Morzhanov, I. V. Zverev. Power inputs modeling in combined logging of the wood with adaptive-modular machinery

PROBLEMS IN ECOLOGY AND RATIONAL NATURE EXPLOITATION

R. I. Vinokurova, O. V. Lobanova. Specificity of distribution of macrocells in parts of wood plants of spruce-fir forests in the Republic of Mari El

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

Yu. P. Demakov, I. I. Mityakova. Spatial heterogeneity of soil agricultural background of forest nursery and its influence on biometrics parameters of seedlings

G. P. Drobot, V. S. Trubacheva, O. V. Maluta, S. G. Vasin, O. I. Pavlovskaya. Histo-morphometric characteristics of fish liver as bioindicators of later environment quality

D. V. Kochkin, A. M. Nosov. Ginsenosides acis esters in suspension culture of *panax japonicus* var. *repens* cells

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

A. A. Medyakov, A. D. Kamenskikh. New catalytic systems development for the processes of biogas receipt

P. S. Novikov, O. V. Sheikina, T. N. Milutina. Variation of pinus sylvestris plus trees on the clone archive in accordance with ISSR-markers

Е. М. Онучин, А. А. Медяков. Наноструктурированные наполнители каталитических систем для установок анаэробной переработки органических отходов

3

А. Г. Поздеев, С. Ф. Киркин, С. Я. Алибеков, Ю. А. Кузнецова. Совершенствование оценки экологического состояния линейных частей нефтепроводов на территориях с интенсивным карстообразованием

2

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

1

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

1

А. Г. Поздеев, В. П. Сапцин, Ю. А. Кузнецова. Обобщение модели экологии популяций Лотки-Вольтерры на основе принципов системной динамики

2

Е. М. Романов, Д. И. Мухортов, А. Д. Средин, Р. В. Сергеев, А. И. Шургин. Выращивание декоративных цветочных растений в культуре *in vitro* с использованием субстратов из органических отходов

3

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

В. Б. Загумеников. Книга по интродукции элутерококка колючего

1

Э. А. Курбанов. Повышение качества лесного образования: интеграция вузов Европы и России в программе Темпус-IV

3

А. В. Кусакин, Ю. Г. Мальков, Н. Б. Нуреев. Газизуллин Ахмадулла Хадиевич – 80 лет

2

E. M. Onuchin, A. A. Medyakov. Nanostructured fillers of catalytic systems for plants of anaerobic digestion of organic waste

A. G. Pozdeev, S. F. Kirkin, S. Ya. Alibekov, Yu. A. Kuznetsova. Assessment improvement of linear pipelines ecological state in the areas with intense karstification

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

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

A. G. Pozdeev, V. P. Sapsin, Yu. A. Kuznetsova. Generalization of ecology model of Lotka-Volterra population based on system dynamics

E. M. Romanov, D. I. Mukhortov, A. D. Sredin, R. V. Sergeev, A. I. Shurgin. Ornamental flowers cultivation *in vitro* with the use of organic waste substrates

DATES. EVENTS. COMMENTS

V. B. Zagumennikov. Book on introduction of spiny eleuterococcus

E. A. Kurbanov. Forest education quality improvement: European and Russian universities integration in Tempus-IV program

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

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

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

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

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

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

Статья должна содержать только оригинальный материал, отражающий результаты завершённых исследований автора, ранее не публиковавшихся, объемом 6–15 страниц, включая рисунки.

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

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

Требования к оригиналам предоставляемых работ

Структура научной статьи

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

Требования к оформлению статьи

Статья должна быть предоставлена в электронном виде и компьютерной распечатке (2 экз.) на бумаге формата А4. Шрифт Times New Roman, размер шрифта 12 пт, межстрочный интервал одинарный. Поля: внутри – 2 см, верхнее, нижнее, снаружи – 3 см (зеркальные поля), абзацный отступ первой строки на 0,75 см.

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

Далее размещается аннотация (выравнивание по ширине, размер шрифта 12 пт, курсив, отступ слева и справа 1 см). Аналогично оформляются ключевые слова. Аннотация и ключевые слова статьи предоставляются на **русском и английском языках**.

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

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

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

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

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

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

К статье прилагаются следующие **документы**:

- рекомендация кафедры;
- экспертное заключение о возможности опубликования.

Материалы, не соответствующие вышеуказанным требованиям, не рассматриваются.

Адрес для переписки: 424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина 3, МарГТУ, редакция журнала «Вестник МарГТУ», **e-mail:** vestnik@marstu.net

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Подробнее – на сайте МарГТУ: <http://www.marstu.net>

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