

ВЕСТНИК 3(10) 2010

МАРИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научный журнал

Издаётся с ноября 2007 года

Выходит три раза в год

СЕРИЯ «Лес. Экология. Природопользование»

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

Учредитель:

ГОУ ВПО «Марийский государственный технический университет»

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

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

Адрес редакции:

424006, Йошкар-Ола, ул. Панфилова, 17

Тел. (8362) 68-78-46, 68-63-41

Факс (8362) 41-08-72

E-mail: vestnik@marstu.net

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

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

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

А. С. Исаев, академик РАН (Москва)

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

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

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

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

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

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

Редактор **Т. А. Рыбалка**

Дизайн обложки **Л. Г. Маланкина**

Компьютерная верстка

А. Ю. Желонкин

Перевод на английский язык

М. А. Шалагина

Подписано в печать 27.12.10.

Формат 60×84 1/8. Усл. п. л. 15.

Тираж 500 экз. Заказ №.

Марийский государственный

технический университет

424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Отпечатано с готового оригинал-макета

в ООО «Реклайн»

424007, Йошкар-Ола,

ул. Строителей, 95

СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

- В. В. Рубцов, И. А. Уткина.** Филлофаги лесных экосистем в условиях изменяющегося климата
А. А. Григорьев, П. А. Моисеев, З. Я. Нагимов. Особенности формирования древостоев на верхнем пределе их произрастания в горах Приполярного Урала
Ю. П. Демаков, М. Г. Сафин, Г. А. Богданов. Лесорастительные условия верховых болот Марийского Полесья
А. А. Маленко, В. А. Усольцев. Возрастное изменение фитомассы в разнотравных гнездовых культурах сосны Алтайского края и ошибки ее определения
А. А. Вайс. Объемы пней сосны обыкновенной (*pinus sylvestris* L.) в условиях Средней Сибири

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

- В. И. Черныкевич.** Ресурсосберегающая технология строительства лесных дорог
А. В. Егоров, С. В. Зверев. Инерционный метод оценки энергетической эффективности зубчатых редукторов машин лесного комплекса
В. А. Александров, О. Н. Бурмистрова, Н. Р. Шоль. О нагруженности силовой установки валочно-пакетирующей машины в режиме переориентирования ходовой системы
М. В. Боярский, О. Г. Тарасова. Анализ видов покоробленностей и способов их измерения

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

- А. В. Иванов, О. Г. Введенский, Е. Ф. Султанова.** Конструкции и режимы работы рыбопропускных сооружений для приливных электростанций
Ю. П. Демаков, М. Г. Сафин, Р. И. Винокурова, В. И. Таланцев, С. М. Швецов. Хвоя как индикатор состояния сосновых молодняков на олиготрофных болотах
Н. А. Разумников, И. Н. Разумников. Закономерности сезонного развития элеутерококка колючего в Республике Марий Эл

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

- В. Л. Черных, В. М. Журинов.** Василий Иванович Сухих – лесовод и организатор науки
Е. М. Романов, П. Ф. Войтко, Ю. А. Ширнин. Памяти Юрия Николаевича Венценосцева
Указатель материалов, опубликованных в журнале в 2010 году
Информация для авторов

CONTENTS

FORESTRY

- V. V. Rubtsov, I. A. Utkina.** Phyllophages in forest ecosystems under climate change conditions
A. A. Grigoryev, P. A. Moiseev, Z. Ya. Nagimov. Peculiarities of forest stands formation at the upper bound of its growing in the mountains of the Nether-Polar Ural
Yu. P. Demakov, M. G. Safin, G. A. Bogdanov. Forest vegetative conditions of Mari forest area upland bogs
A. A. Malenko, V. A. Usoltsev. Biomass age change in pine plantations of different density nest-shapes pines in Altai Region and some errors in its definition
A. A. Vais. Pinus sylvestris l stumps size in middle siberia conditions

FORESTRY TECHNOLOGIES AND MACHINES

- V. I. Chernyakevich.** Resource-saving technology of forest roads construction
A. V. Egorov, S. V. Zverev. Inertial method of forest complex machinery gear reducers energetic efficiency evaluation
V. A. Alexandrov, O. N. Burmistrova, N. R. Sholl. Felling-bunching machine power plant loading in the mode of running gear reorientation
M. V. Boyarsky, O. G. Tarasova. Analysis of the types of buckle and the ways of its measurement

PROBLEMS IN ECOLOGY AND RATIONAL NATURE EXPLOITATION

- A. V. Ivanov, O. G. Vvedensky, E. F. Sultanova.** Structures and conditions of work of fish facilities for tidal power stations
Yu. P. Demakov, M. G. Safin, R. I. Vinokurova, V. I. Talantsev, S. M. Shvetsov. Needles as an indicator of a pine young growths condition on Mari woodlands oligotrophic moors
N. A. Razumnikov, I. N. Razumnikov. Regularities of eleutherococcus senticosus seasonal development in Mari El Republic

DATES. EVENTS. COMMENTS

- V. L. Chernykh, V. M. Zhirin.** Vasily Ivanovich Sukhikh – forester and science organizer
E. M. Romanov, P. F. Voitko, Yu. A. Shirnin. Yuri Nikolayevich Ventsenostsev
List of materials published in MarSTU Reporter in 2010
Information for the authors

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630*416.1:582.632.2

В. В. Рубцов, И. А. Уткина

ФИЛЛОФАГИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

Обсуждаются особенности взаимодействия лесных насекомых-филлофагов с их кормовыми породами на фоне происходящих изменений климата. Приведены основные результаты многолетних наблюдений авторов за динамикой численности наиболее распространенных вредителей дубрав (юг лесостепи, Воронежская область), выполнен анализ основных метеорологических показателей для этого региона. По данным мировой литературы показано, что зафиксированные повсеместно изменения климата вызвали изменения ареалов многих видов растений и насекомых, отчего меняются количественные и качественные показатели их трофических взаимосвязей.

Ключевые слова: изменения климата, филлофаги, кормовые деревья, дубравы лесостепи.

Введение. Попытки определить тенденции климатических изменений предпринимались учеными всегда. При этом всегда интересовало не только текущее состояние внешней среды, но и будущее, а для этого необходимо знать, как изменялся климат в прошлом: в относительно короткие хронологические ряды постоянных наблюдений за погодой, еще раньше – по свидетельствам из исторических документов, археологических раскопок и еще раньше – в доисторические эпохи, на основе палинологических, палеонтологических и прочих методов исследований.

Закономерности колебаний климата в прошлом и особенно в будущем представляют интерес не только сами по себе, но и в связи с их большим влиянием на взаимодействия различных компонентов природных экосистем, что имеет значение не только научное, но и прикладное – социально-экономическое и даже политическое.

Взаимодействия насекомых и растений, которыми они питаются, на первый взгляд, не имеют существенного влияния на состояние природной среды. Однако в связи с тем, что некоторые виды насекомых способны массово размножаться под действием тех или иных климатических факторов, уничтожая при этом растения, имеющие большое хозяйственное значение, эта проблема выходит за рамки чисто научной.

Климатические факторы оказывают на экосистемы **прямое и косвенное воздействие**. Не составляют исключения популяции насекомых-филлофагов и их кормовые растения.

А. И. Воронцов [1] отмечал, что при прямом воздействии сложившиеся погодные условия стимулируют или тормозят развитие, рост, питание насекомых и другие биологические процессы. Они же определяют уровень смертности от физических факторов среды (гибель от низких температур, ливней, засухи и т.д.). Очень часто в силу различных требований видов к физическим факторам наблюдается асинхронность в развитии вредителя и его энтомофагов. Косвенное воздействие осуществляется через пищу и местообитания отдельных стадий развития, через энтомофагов и болезни. Оно происходит через сложные цепи взаимодействий в экосистеме и, как правило, более инерционно.

Поскольку изменение климата неодинаково в пространстве и времени, то и его влияние на экосистемы различно.

Результатом изменения гидротермического режима приземного слоя атмосферы является нарушение сложившегося баланса между развитием филлофагов и их кормовых растений. Это связано прежде всего с различием в реакциях на происходящие изменения у разных видов растений и филлофагов. Особенно заметно влияние погоды на взаимоотношения филлофагов с кормовыми растениями в фазе личинки насекомых (скорость развития, конкуренция за пищу, миграции, фактор асинхронности в отрождении личинок и развитии листвы, влияние паразитов, хищников и болезней, питательность корма и др.).

В настоящее время собрано немало доказательств того, как влияют климатические изменения на природные системы. При этом выводы разных авторов по многим вопросам не совпадают, а иногда и противоречивы. Учитывая огромное разнообразие филлофагов, растений и условий их местообитания, необходимо расширять экспериментальные исследования по данной проблеме в различных регионах и экосистемах.

Цель работы: на основе анализа отечественной и зарубежной литературы показать состояние исследований вопроса взаимоотношений лесных насекомых-филлофагов с кормовыми растениями при наблюдающихся изменениях климата. Дать количественную оценку изменениям основных метеорологических характеристик в районе исследований авторов статьи (южная лесостепь, Воронежская обл., Теллермановская дубрава). Показать влияние современной погодно-климатической ситуации на динамику численности главных вредителей листвы дуба в этом регионе.

Решаемые задачи: 1) оценка степени изученности рассматриваемой проблемы и мнений специалистов из разных стран о возможных сценариях изменений в обозримом будущем взаимоотношений филлофагов с кормовыми растениями; 2) выявление и анализ трендов погодно-климатической ситуации за последние 60–80 лет в южной лесостепи; 3) анализ наблюдений за цикличностью массовых размножений филлофагов в последние десятилетия.

Методика обработки экспериментальных данных и математическое моделирование. Анализ многолетней динамики метеозлементов и выявление их трендов проведены с помощью регрессионных моделей и методов анализа временных рядов. Периоды с аномальными погодными условиями определены с использованием построенных нами климатодиаграмм Госсена-Вальтера и в соответствии с рекомендацией Всемирной метеорологической организации по величине отклонения соответствующей характеристики погодных условий от ее среднего значения за 1961–1990 гг.

Влияние погодных условий на взаимодействие гусениц зеленой дубовой листовертки с листвой оценены с помощью имитационных экспериментов с построенной

нами ранее математической моделью. Основу модели составляет система трех обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений, решаемая с помощью компьютера методом Рунге-Кутты.

Результаты и обсуждение. Большинство специалистов, занимающихся оценками текущего состояния климата и прогнозированием последующих его изменений, склонны предполагать, что в обозримом будущем среднегодовая температура воздуха повысится на 3°C, а концентрация атмосферного CO₂ увеличится в два раза.

Детальные прогнозы, основанные на обобщении большого числа литературных источников и собственных расчетов, содержатся в коллективной монографии сотрудников Института глобального климата и экологии Росгидромета и Российской академии наук С. М. Семенова и др. [2]. В частности, авторы утверждают, согласно данным наблюдений с 1861 года: за последние 100–140 лет средняя температура воздуха в атмосфере повысилась на $0,6 \pm 0,2^\circ\text{C}$; 1990-е годы оказались самым теплым десятилетием; с 1950 года частота экстремально низких температур сократилась, а экстремально высоких – увеличилась; в течение XX в. на континентах количество осадков увеличивалось в средних и высоких широтах северного полушария со скоростью 0,5–1% за 10 лет; в средних и высоких широтах северного полушария во второй половине XX в. частота экстремального количества осадков увеличилась на 2–4%; в XX в. увеличились территории с сильными засухами или сильным переувлажнением.

На основе этих и других зафиксированных изменений авторы дают обобщенный прогноз, что если эта тенденция сохранится, то к 2025 году уменьшится ущерб, вызванный морозами; возрастет ущерб от теплового стресса; увеличится частота нарушений экосистем вследствие пожаров и воздействия вредных насекомых; вегетационный период в средних и высоких широтах увеличится; возрастет чистая первичная продукция многих лесов.

К 2050 году виды, находящиеся в настоящее время под угрозой исчезновения, исчезнут; многие другие виды окажутся под угрозой исчезновения; продолжится рост чистой первичной продукции лесов; увеличится частота нарушений экосистем вследствие пожаров и воздействия насекомых.

К 2100 году негативные последствия изменения климата усилятся: возникнут потери уникальных местообитаний и соответствующих эндемичных видов; возрастут нарушения функционирования экосистем из-за пожаров и насекомых-вредителей.

Как видим, приведенные в [2] прогностические выводы говорят о неуклонном возрастании негативного действия насекомых-вредителей наряду с ростом числа других экстремальных природных явлений.

Рассмотрим кратко некоторые обобщающие работы, касающиеся взаимодействий «растение–насекомое» в условиях изменяющегося климата, выполненные в последние 20 лет.

В 1992 году J. Landsberg и M. S. Smith [3] предположили, что изменения глобальной атмосферы должны повлиять на частоту и интенсивность вспышек растительоядных насекомых в первую очередь посредством изменения температуры воздуха и суммы осадков, тогда как ожидаемое повышение содержания CO₂ в атмосфере не окажет большого влияния, кроме случаев, когда в ответ на нападение фитофагов растения образуют защитные соединения на основе азота.

В 2000 году L. Hedges [4], проанализировав 49 литературных источников, распределил ожидаемые последствия изменения климата на четыре группы: 1) изменение физиологии насекомых и растений вследствие изменения скорости развития и метаболизма тех и других; 2) перемещение ареалов видов как растений, так и насекомых вверх по высоте над уровнем моря или к полюсам в ответ на сдвиг климатических зон; 3) изме-

нение фенологии видов, отчего могут нарушиться взаимосвязи между ними; 4) изменение адаптационных способностей, отчего произойдут микроэволюционные изменения у видов с короткими оборотами поколений и высокой интенсивностью роста численности. Такие изменения физиологии, фенологии и распространения конкретных видов неизбежно изменят конкурентные и прочие взаимодействия между ними.

В том же 2000 году М. Р. Ayres и М. J. Lombardero [5] после анализа 311 публикаций предположили, что изменения климата приведут к изменению действия фитофагов (в первую очередь насекомых) и возбудителей болезней (патогенов) на лес, прямо влияя на развитие и выживаемость фитофагов и патогенов, изменяя защитные реакции деревьев, влияя на естественных врагов и конкурентов фитофагов. Даже умеренные климатические изменения окажут быстрое влияние на распределение и обилие многих фитофагов и патогенов из-за их короткого жизненного цикла, мобильности, репродуктивного потенциала и чувствительности к температуре. Кроме того, изменение нарушений в лесу, вызываемых насекомыми и возбудителями болезней, вызовет обратную связь с климатическими факторами через воздействие на воду и поток углерода в лесных экосистемах.

С. Parmesan в соавторстве с G. Yohe [6], проанализировав данные о более 1700 видов растений и животных в естественных условиях, сделали количественную оценку происходящих изменений. По их данным, глобальное потепление сдвинуло ареалы этих видов к северу со средней скоростью 6,1 км в десятилетие. Кроме того, весенние фенологические процессы стали начинаться раньше – в среднем на 2,3 суток за десятилетие.

В другой обобщающей работе С. Parmesan [7] продолжила обобщение появляющихся результатов. По данным 228 публикаций она сделала выводы, что во всех типах пресноводных и наземных природных сообществ изменяются фенология и распределение растений и животных: ареалы многих видов сместились к северу и вверх по высоте над уровнем моря; виды, в первую очередь полярные и высокогорные, и ранее имевшие ограниченные ареалы, становятся еще более ограниченными, к тому же они первыми подвергаются угрозе исчезновения из-за климатических изменений; зафиксированы происходящие нарушения взаимодействия в системах «хищник–жертва» и «растение–насекомое» из-за разных реакций взаимодействующих видов на потепление; в пределах расширяющихся видовых ареалов происходят эволюционная адаптация к более теплым условиям и использование новых пищевых ресурсов.

Исследования А. Battisti [8] выполнены в лиственных лесах Южных Альп. По его данным, произошедшие в 1990-х годах изменения климата косвенно повлияли на лесные сообщества через активность насекомых-фитофагов. В частности, во время недавних вспышек елового пилильщика *Cephalcia arvensis* и лиственничной моли *Zeiraphera diniana* зафиксировано более быстрое развитие насекомых вследствие возрастания интенсивности их кормления на фоне повышения температуры воздуха, спровоцировавшего изменение механизма адаптации насекомых к локальному климату. Автор на примере этих двух видов показывает, как особенности жизненного цикла конкретного вида фитофага зависят, с одной стороны, от климатических параметров, с другой – от особенностей фенологии кормовых деревьев: высокая температура воздуха в период развития личинок пилильщика вызвала у него более короткую диапаузу и вследствие этого более сильное повреждение им хвои лиственницы; повышенная зимняя температура изменила режим и сроки фазы яйца лиственничной моли, вызвав асинхронность ее фенофаз и роста хвои лиственницы, отчего вспышка массового размножения этого вредителя не произошла.

Обобщая свои собственные и литературные данные, A. Battisti [8] также констатирует расширение ареала нескольких видов насекомых на север и вверх по высоте над уровнем моря и изменение их фенологии, как это отмечалось выше.

Близкие выводы содержатся в работе J. A. Nodar и R. Zamora [9], посвященной взаимоотношениям филлофага – соснового походного шелкопряда *Thaumetopoea pityocampa* и реликтовой сосны *Pinus sylvestris nevadensis* в горах Сьерра-Невада (юго-восток Испании). Сопоставив данные о вспышках массового размножения шелкопряда, степени дефолиации сосняков и метеопоказатели 1991–2001 гг., авторы пришли к выводу, что сильной дефолиации предшествовали более теплые зимы. Таким образом, и эта публикация – еще один пример изменившихся на фоне потепления взаимоотношений кормового дерева и филлофага: данной разновидности сосны и соснового шелкопряда. Произошедшие изменения резко увеличили угрозу гибели этих реликтовых сосняков вследствие их однородной структуры, способствующей быстрому распространению вредителя.

Многие виды насекомых-филлофагов могут развиваться только на растущих частях растений, и в этих случаях особенно важна синхронность развития насекомых и листьев или побегов, о чем уже шла речь в работе [8]. По степени нарушения такой синхронности можно судить о сдвигах фенологии развития личинок, чтобы предположить, каковы будут изменения популяционной динамики вида.

Особенную важность такие критерии приобретают, если филлофаги повреждают ценные древесные породы, как, например, зимняя пяденица, питающаяся растущей листвой многих лиственных пород, в том числе дуба. Поэтому она часто становится объектом наблюдений.

M. E. Visser и L. J. M. Holleman [10] изучали динамику численности зимней пяденицы в Нидерландах и сообщают, что фенология отрождения ее гусениц за последние 15 лет отчетливо сдвинулась в сторону более ранних дат. Чтобы оценить, является ли этот сдвиг адаптивной реакцией, авторы использовали фенологию раскрытия почек и роста листьев дуба в качестве критерия и пришли к выводу, что сдвиг дат развития у зимней пяденицы чересчур велик. Хотя в последние годы раскрытие почек дуба тоже начинается раньше, гусеницы зимней пяденицы выходят из яиц задолго до раскрытия почек дуба, что приводит к несовпадению оптимальных сроков начала их питания.

В другой работе, тоже посвященной зимней пяденице, питающейся на дубе черешчатом, A. Buse et al. [11] изучали, как влияет повышение температуры воздуха и концентрации CO₂ на взаимодействие этих видов. По мнению авторов, прогнозируемые к 2100 году повышение температуры воздуха на 2°C и концентрации CO₂ с 358 до 500 ppm не окажут существенного влияния на синхронность между отрождением гусениц из яиц и раскрытием почек дуба, так как воздействие будет одинаковым на оба компонента. Обычно при повышенной концентрации CO₂ рост растений усиливается, отчего содержание азота понижается, а фенолов – увеличивается. В результате насекомые-филлофаги медленнее растут, потребляют больше корма, дольше развиваются и повышается их смертность. Повышение температуры также снизит концентрацию азота в листве и увеличит содержание танинов, что ухудшит качество листвы как корма гусениц.

Сравнение выводов работ [10] и [11] показывает, что они во многом противоречивы, и это свидетельствует о сложности протекающих процессов, испытывающих одновременное действие множества факторов.

Увеличение уровня CO₂ в атмосфере ведет к увеличению отношения углерода к азоту в растительных тканях, отчего снижается качество корма многих насекомых-дефолиаторов. В ответ на это некоторые насекомые реагируют повышением уровня по-

требления листвы, т.е. наносят большее повреждение деревьям, тогда как у других видов увеличивается смертность, отчего их вредоносность для деревьев уменьшается.

Способность растений к химическим защитным реакциям также испытывает влияние изменения уровня CO_2 . В очень большой степени выживание насекомых, активных в холодный период, зависит от температуры воздуха, которая также влияет на механизм синхронизации между развитием кормовых пород и фитофагов, как это показано А. Battisti на примере лиственницы и лиственничной моли [8].

Работа Т. Н. Sparks et al. [12] посвящена бабочкам. Их собственные данные о миграции 75 видов чешуекрылых в 1982–2005 гг. показывают, что на юге Великобритании миграция бабочек неуклонно возрастает, что связано с подъемом температуры на юго-западе Европы. Авторы, сопоставив свои результаты с данными 34 литературных источников, констатируют, что в популяциях чешуекрылых северного полушария из-за подъема температуры воздуха ускоряется смена фенофаз, меняется морфология, увеличиваются размеры популяций, ареалы расширяются, сдвигаются к северу и вверх по высоте над уровнем моря. Дальнейшее потепление климата в Европе увеличит число мигрирующих бабочек, достигающих побережья Великобритании.

Во всех известных нам работах отмечается, что наиболее важный внешний фактор, влияющий на развитие и состояние популяций насекомых-фитофагов, – температура воздуха. Наиболее отчетливо это показано в обзорной работе J. S. Bale et al. [13]. Анализируя данные 134 источников литературы, авторы утверждают, что температура – главный абиотический фактор, непосредственно воздействующий на насекомых-фитофагов, а действие концентрации CO_2 и увеличения ультрафиолетового излучения намного слабее. Температура прямо влияет на развитие, выживаемость, ареал и численность насекомых. Виды с более обширным ареалом зависят от температуры в меньшей степени.

Однако реакция насекомых на изменения климата не всегда линейна. Например, фазы развития насекомых по-разному испытывают влияние изменений, т.е. рост может усилиться при повышении температуры воздуха, в то же время продолжительность диапаузы может стать больше.

При этом главный эффект температуры в умеренных регионах – влияние на зимнюю выживаемость; в более северных широтах повышение температуры удлиняет вегетационный период, отчего доступная сумма температур для роста и репродукции увеличивается.

Наличие у насекомых-фитофагов разных жизненных стратегий позволяет им использовать в качестве корма растения разных жизненных форм и с различной стратегией, на которых происходящие изменения климата действуют по-разному.

А. С. Исаев с соавторами опубликовали ряд работ по прогнозированию влияния изменений климата на динамику численности филофагов, ареалов их распространения и нанесению вреда древостоям [14–16]. Методологическая сторона их исследований основана на статистических методах анализа и имитационном моделировании.

Авторы с помощью моделирования детально проанализировали влияние 100 различных климатических сценариев на динамику численности популяции сосновой пяденицы (*Bupalus piniarius*). Были определены критические значения климатических показателей, вызывающих регулярные всплески массового размножения сосновой пяденицы. Установлено, что повышение среднегодовой температуры воздуха на 2–4°C, что возможно согласно существующим глобальным климатическим сценариям, вызовет в Центральной Сибири потенциальную опасность для сосновых лесов в связи с размножением пяденицы.

Авторы отмечают: при анализе влияния глобальных изменений климата на динамику численности насекомых следует учитывать не только среднегодовые климатические сдвиги, но и климатические изменения в течение всего года, поскольку развитие популяций в течение сезона зависит от различных климатических факторов.

Общий вывод этой группы авторов состоит в том, что с потеплением климата вероятность возникновения всплесков массового размножения энтомовредителей может возрасти, а зона их потенциального заселения – расширяться. Вместе с этим констатируется, что в настоящее время нельзя получить однозначный ответ о последствиях глобального изменения климата для динамики численности насекомых и повреждаемости ими лесов. Для этого необходима более детальная информация о взаимоотношениях «дерево–насекомое» для конкретных видов насекомых и их кормовых пород.

При исследовании взаимоотношений между филлофагами и их кормовыми породами необходимо учитывать и экофизиологические особенности вида в целом (типы формирования побегов, скорость роста побегов и листьев, особенности формирования кроны, корневой системы и др.), а также индивидуальные характеристики конкретных деревьев: условия произрастания, возраст, положение в древостое и др. К важнейшим показателям видовой стратегии относится то, как и какие побеги образует дерево. Например, у дуба детерминированный рост побегов – в течение одного или нескольких коротких периодов, у березы – недетерминированный в течение всего периода вегетации. Поэтому на повреждение листвы они реагируют по-разному. Большое значение имеют сроки повреждения листвы – в начале вегетационного периода, в середине или конце, и, безусловно, степень повреждения, т.е. дефолиации.

Степень влияния дефолиации на выживание и продукцию деревьев зависит, с одной стороны, от степени и сроков изъятия листвы, с другой стороны, от текущего состояния, видовой жизненной стратегии и условий произрастания деревьев, погодных условий. Реакция деревьев на дефолиацию в значительной степени зависит от функциональной организации их крон – количества и соотношения в них побегов разных типов, размеров, особенностей роста, облиствления и т.д., как это показано нами на примере дуба черешчатого [17]. В свою очередь, эта реакция сказывается на изменении архитектуры крон, а значит и на последующем развитии древостоя. Таким образом, модификация характеристик крон растений в процессе их повреждения филлофагами в значительной степени определяет уровень последствий инвазий для насаждения.

Важнейшим фактором, влияющим на дальнейшую судьбу деревьев после интенсивной дефолиации, является количество и сроки образования регенеративной листвы – уровень рефолиации. Потенциальная способность растений компенсировать листовую поверхность взамен утраченной характеризует толерантность растений к филлофагам. Выводы исследователей о влиянии рефолиации (восстановительного побего- и листового образования в кронах) на состояние дерева различны, что в значительной мере объясняется сложным характером связи регенеративного побегообразования с дефолиацией и другими биотическими и абиотическими факторами.

Способность древесных пород восстанавливать листву после полной или значительной потери ее под действием неблагоприятных факторов ярко выражена у дуба. Его адаптационные возможности к этим явлениям обусловлены особенностями формирования побегов, почек и листьев разных генераций в зависимости от внешних условий и степени повреждения крон.

Даже такое краткое перечисление факторов показывает, насколько может варьировать реакция дерева на полную или частичную потерю листовой поверхности. Подробно эти проблемы рассмотрены нами ранее [17], дополнительно приведем еще несколько примеров.

В Японии Y. Ohno et al. [18] изучали на примере сеянцев березы *Betula maximowicziana* связь между степенью дефолиации, схемами развития побегов, отпадом побегов и водообменом в листовых тканях. Вспышка фитофагов *Caligula japonica* и *Lymantria dispar praeterea* происходила во второй половине июня, и наблюдаемые побеги повреждались в разной степени. В пределах одного месяца некоторые сильно дефолиированные побеги образовали новые листья на укороченных побегах, выросших из придаточных почек. Пошаговый регрессионный анализ выявил, что вероятность образования длинных ростовых побегов текущего года из облиственных укороченных побегов тесно связана со степенью дефолиации. Характер водообмена в более старших листьях и тех, которые выросли после повреждения филлофагами, разный, особенно это зависит от высоты расположения побегов в кроне, что затрудняет определение будущего состояния сеянцев, так как степень повреждения их варьирует. Приведенные авторами результаты показывают, что комбинированный эффект уязвимости вновь отросших листьев и низкой водообеспеченности выше расположенных побегов увеличивает их гибель.

В. Babst et al. [19] изучали с помощью изотопа ^{11}C быстрые (в течение первых 18 часов) изменения транспорта и распределения углерода у тополя черного *Populus nigra* после повреждения листьев непарным шелкопрядом *Lymantria dispar*.

Сразу после повреждения скорость экспорта недавно фиксированного углерода из более молодых листьев возросла. Увеличение скорости в большей степени связано с более быстрым прохождением ^{11}C через лист, чем с изменением скорости его переноса через флоэму. Авторы сделали заключение, что хотя механизмы, лежащие в основе быстрого увеличения потока углерода из листьев в стволы и корни, до сих пор мало понятны, можно предположить существование координированной реакции растения в целом на повреждение. Таким образом, даже когда фитофаг специализируется только на одном типе растительной ткани, подход «целого растения» может быть ключом к пониманию того, как растения реагируют на повреждение фитофагами.

Из этого краткого обзора литературных источников, посвященных взаимоотношениям филлофагов с растениями в условиях изменяющегося климата, видно наличие разных, иногда противоречивых, выводов. При этом почти все исследователи говорят о том, что происходящее потепление спровоцировало расширение ареалов у многих видов насекомых, и отмечают, что температура воздуха – наиболее важный фактор, прямо влияющий на развитие, выживаемость, ареал и численность популяций насекомых, а действие концентрации CO_2 и увеличивающегося ультрафиолетового излучения намного слабее.

Мы проанализировали временные ряды некоторых погодно-климатических показателей по данным метеостанции г. Борисоглебска (Воронежская обл.), которая расположена в восьми километрах от Теллермановского опытного лесничества Института лесоведения РАН, в котором мы ведем многолетние наблюдения. Установлено, что среднегодовая температура воздуха с 1927 года к настоящему времени возросла почти на 2°C . Средняя температура воздуха в период вегетации (май–сентябрь) немного понизилась. При этом сильно возросло количество осадков за вегетацию – на 99 мм с 1949 по 2009 год. С 1949 по 1975 год не было ни одного года с суммарным количеством осадков за вегетацию более 300 мм, а с 1976 по 2009 год таких сезонов было 11, в том числе четыре сезона с количеством осадков за вегетацию более 400 мм (1976, 1980, 1988, 1993 гг.).

Анализ построенных климатодиаграмм Госсена-Вальтера [17] показал тенденцию значительного увеличения в последние десятилетия количества периодов вегетации без засухливости, что очень существенно для зоны недостаточного увлажнения.

Таким образом, в южной лесостепи континентальность климата уменьшается: зимние температуры воздуха повышаются существенно, ранневесенние и осенние повышаются в меньшей степени, тогда как майские и летние, напротив, немного снижаются; сумма осадков значительно возрастает, особенно в период вегетации.

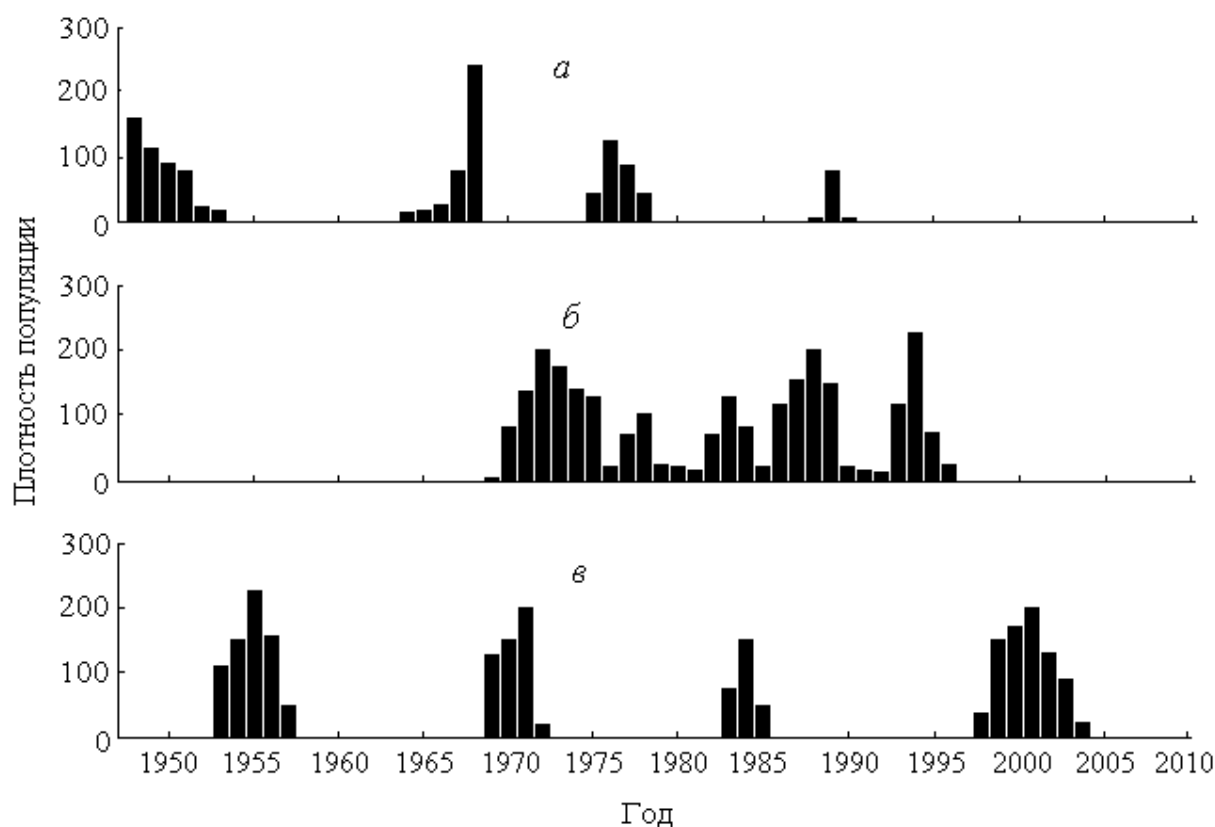
Увеличение количества осадков в период вегетации, безусловно, является фактором, благоприятным для увеличения прироста деревьев в южной лесостепи. Однако, как показывают исследования Н. Ф. Каплиной в нагорной дубраве лесничества [20], на радиальный прирост существенно влияет не только количество выпавших осадков, но и величина их отклонения от многолетнего тренда. В значительной степени влияние осадков на прирост зависит также от их внутрисезонного распределения и температурного режима. Поэтому, на наш взгляд, целесообразнее использовать при анализе прироста гидротермические характеристики, прежде всего в течение вегетации. В периоды действия экстремальных факторов, в частности при массовых размножениях филлофагов, они становятся доминирующими, активируют различные адаптационные механизмы деревьев, определяют величину прироста и количество накопленных деревом запасных веществ. При этом текущая погодная ситуация очень сильно влияет на состояние филлофагов, как значительно менее инерционный по сравнению с деревьями компонент экосистемы.

В кронах дуба постоянно обитают и питаются большое число видов насекомых. При ограниченной численности каждого из них всем хватает корма и места, а уровень дефолиации крон не опасен для деревьев. На дубе обычно многочисленны различные листовертки, совки, моли, молеобразные листовертки, голубянки, пяденицы-шелкопряды, огневки и другие виды. В некоторые периоды численность некоторых из них значительно увеличивается, но очаги массового размножения при этом не формируются. Многовидовое население крон дуба находится в сложных взаимоотношениях, регулярно меняется его комплекс, но в периоды всплеск размножения массовых вредителей численность всех прочих видов подавляется. В случае резкого увеличения численности какого-либо вида возникает межвидовая, а затем и внутривидовая конкуренция. Важную роль для победы в межвидовой конкуренции играет скорость развития насекомых в период питания, которая тесно связана с погодными условиями, прежде всего с температурным режимом воздуха. Так, развитие гусениц зеленой дубовой листовертки (*Tortrix viridana*) и зимней пяденицы (*Operophtera brumata*) происходит быстро, в условиях Теллермановской дубравы в среднем в течение трех недель. Это дает им преимущества перед многими другими конкурирующими видами насекомых.

Ранее мы проводили имитационные эксперименты с построенной нами математической моделью динамики численности популяции зеленой дубовой листовертки, в том числе изучали прямое действие погодных факторов на взаимоотношения гусениц листовертки с дубом [21]. Было показано, что при высоких плотностях популяции листовертки средний вес ее гусениц в конце питания листвой перед окукливанием оказывался равным или ниже при очень благоприятных для развития гусениц погодных условиях, чем при средних или плохих погодных условиях. Мы объясняем это внутривидовой конкуренцией гусениц за пищу. При благоприятных погодных условиях интенсивность питания и миграций гусениц возрастает, они быстро уничтожают всю листву на деревьях, при этом средняя масса их мала. Часть гусениц не в состоянии окуклиться и погибает, образовавшиеся куколки очень мелкие, а вылетевшие из них бабочки – неплодовитые. В то же время, при худших для развития листовертки погодных условиях интенсивность питания гусениц невелика, смертность их обычно выше. Нарастание массы листвы опережает степень ее уничтожения, конкуренция за пищу уменьшается, выжившая часть гусениц имеет более высокий вес. В условиях перенаселенности это спо-

способствует сохранению популяции. Этот пример наглядно говорит об относительности «благоприятной погодной ситуации» даже для развития конкретной фазы определенного вида насекомых в одном и том же местообитании.

Степень дефолиации крон деревьев к моменту окукливания филлофагов определяется массой и скоростью роста листовой в течение питания гусениц, интенсивностью питания и динамикой их численности. С помощью моделирования нами показано, что при малой численности филлофагов погодные условия в период питания гусениц существенно влияют на степень дефолиации крон, а при высокой – мало. То есть, при достижении популяцией вредителя достаточно высокой численности регулирующая роль погодного фактора в фазе личинки становится малозначимой и не определяет степень дефолиации древостоя. При дальнейшем увеличении численности филлофагов, в условиях перенаселенности, значение регулирующей роли погодного фактора опять возрастает, о чем говорилось выше.



Динамика численности некоторых насекомых-филлофагов, размножавшихся в массе в Теллермановской дубраве в последние 60 лет:

а – непарный шелкопряд, число кладок яиц на 50 деревьев;

б – зеленая дубовая листовёртка, число кладок яиц на 5 пог. м ветвей;

в – зимняя пяденица, число бабочек-самок на 1 дерево

Из этих сравнительно простых примеров результатов моделирования мы видим довольно сложное и неоднозначное прямое воздействие погодных факторов на взаимоотношения популяции филлофага с кормовыми растениями.

Зеленая дубовая листовёртка, зимняя пяденица и непарный шелкопряд в последние десятилетия являются основными листогрызущими вредителями листовой дубрав Тел-

лермановского опытного лесничества. На рисунке приведены данные о динамике численности этих видов в последние 60 лет на территории лесничества.

Хорошо видно, что массовые размножения непарного шелкопряда и зимней пяденицы имеют выраженную дискретность с относительно постоянными временными интервалами. Размножение же зеленой дубовой листовертки носит перманентный характер с волнообразными подъемами и спадами численности. Мониторинг динамики численности этих видов позволил нам зафиксировать существенные изменения, произошедшие в последние 20 лет. Установлено, что популяция зеленой дубовой листовертки уже в течение 15 последних лет (с 1996 года) находится в состоянии глубокой депрессии. При обследованиях не удается найти ни одной ее яйцекладки. На протяжении 20 последних лет (с 1991 года) не было размножения непарного шелкопряда (в этом регионе характерная периодичность его массовых размножений составляет 10–12 лет). Также не удается обнаружить ни одной яйцекладки этого вредителя листвы. Последнее массовое размножение зимней пяденицы (1997–2004 гг.) было необычно затяжным, и уже через пять лет в 2010 году в пойменных дубравах началось интенсивное нарастание численности популяции с сильными повреждениями листвы (характерный интервал между вспышками 11–12 лет). Кроме этого, сильно снизилась численность почти всех листогрызущих насекомых – листоверток, пядениц, совок и др.

В то же время с 1998 г. необычно сильно размножилась популяция минера – дубовой широкоминирующей моли (*Coriscium brongniardellum*), повреждающей листья как ранней, так и поздней фенологических форм дуба независимо от возраста деревьев, после чего листья усыхают и скручиваются. Уже 13 лет подряд широкоминирующая моль повреждает до 80 % площади листвы во всех типах дубрав лесничества. Высокая плотность ее популяции сохраняется и в настоящее время. В течение вегетационного периода моль всегда имеет две полные генерации, причем вторая генерация развивается на молодой листве регенеративных или ивановых побегов. Это приводит к ослаблению деревьев и значительным потерям прироста древесины.

На наш взгляд, существенные изменения в динамике численности филофагов, несомненно, связаны с климатическими факторами, а «уход» из крон листогрызущих насекомых стимулировал массовое длительное размножение минера.

Выводы. С помощью методов анализа временных рядов выявлены тренды основных метеоэлементов в южной лесостепи. Показано уменьшение континентальности климата в этом регионе и существенное изменение в последние десятилетия гидротермического режима приземного слоя воздуха. Участились периоды с аномальными погодными ситуациями.

Происходящие климатические изменения оказывают большое влияние на взаимоотношения насекомых-филофагов с кормовыми породами. Анализ литературных источников по этой проблеме показывает разную направленность и углубление проводимых исследований. Большинство авторов отмечают, что температура воздуха является самым важным фактором, непосредственно влияющим на развитие и численность популяций насекомых. У многих видов насекомых наблюдается в настоящее время расширение ареалов.

Наши наблюдения в Теллермановской дубраве показали заметные изменения динамики численности основных филофагов, уменьшение вредоносности одних видов и увеличение – других.

Применяя метод математического моделирования, в настоящее время можно прогнозировать последствия прямого воздействия изменения климата на взаимоотношения насекомых-филофагов с кормовыми растениями. Отдаленные последствия происхо-

дящих изменений, связанные с косвенным воздействием климата, предсказать сейчас крайне сложно. Они будут зависеть, с одной стороны, от характера изменений климата, с другой стороны – от реакции на это растений и насекомых, обусловленной их адаптационными механизмами.

Список литературы

1. Воронцов, А. И. Патология леса / А. И. Воронцов. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 270 с.
2. Семенов, С. М. Выявление климатогенных изменений / С. М. Семенов, В. В. Ясюкевич и др. – М.: Метеорология и гидрология, 2006. – 324 с.
3. Landsberg, J. A functional scheme for predicting the outbreak potential of herbivorous insects under global atmospheric change / J. Landsberg, M. S. Smith // Aust. J. Bot. – 1992. – Vol. 40. – № 4–5. – P. 565–577.
4. Hudes, L. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? / L. Hudes // TREE. – 2000. – Vol. 15. – № 2. – P. 56–61.
5. Ayres, M. P. Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens / M. P. Ayres, M. J. Lombardero // The Science of the Total Environment. – 2000. – Vol. 262. – № 3. – P. 263–286.
6. Parmesan, C. A. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems / C. A. Parmesan, G. Yohe // Nature. – 2003. – Vol. 421. – P. 37–42.
7. Parmesan, C. Ecological and evolutionary responses to recent climate change / C. Parmesan // Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst. – 2006. – Vol. 37. – P. 637–669.
8. Battisti, A. Forests and climate change – lessons from insects // Forestalia. – 2008. – Vol. 1. – P. 1–5.
9. Hodar, J. A. Herbivory and climatic warming: a Mediterranean outbreaking caterpillar attacks a relict, boreal pine species / J. A. Hodar, R. Zamora // Biodiversity and Conservation. – 2004. – Vol. 13. – P. 493–500.
10. Visser, M. E. Warmer springs disrupt the synchrony of oak and winter moth phenology / M. E. Visser, L. J. M. Holleman // Proc. Royal Soc. – 2001. – Vol. 268. – № 1464. – P. 289–294.
11. Buse, A. Effects of elevated temperature and carbon dioxide on the nutritional quality of leaves of oak (*Quercus robur* L.) as food for the winter moth (*Operophtera brumata* L.) / A. Buse, J. E. G. Good, S. Dury, C. M. Perrins // Funct. Ecology. – 1998. – Vol. 12. – № 5. – P. 742–749.
12. Sparks, T. H. Increased migration of Lepidoptera linked to climate change / T. H. Sparks, R. L. H. Dennis, P. J. Croxton, M. Cade // Eur. J. Entomol. – 2007. – Vol. 104. – P. 139–143.
13. Bale, J. S. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores / J. S. Bale, G. J. Masters, I. D. Hodkinson and othes // Global Change Biology. – 2002. – Vol. 8. – P. 1–16.
14. Исаев, А. С. Имитационное моделирование динамики численности сосновой пяденицы при различных климатических сценариях / А. С. Исаев, Т. М. Овчинникова, Е. Н. Пальникова, В. Г. Суховольский // Лесоведение. – 1997. – № 4. – С. 40–48.
15. Исаев, А. С. Оценка характера взаимодействий «лес–насекомые» в лесах бореальной зоны в ходе возможных климатических изменений / А. С. Исаев, Т. М. Овчинникова, Е. Н. Пальникова и др. // Лесоведение. – 1999. – № 6. – С. 39–44.
16. Лямцев, Н. И. Влияние климата и погоды на динамику численности непарного шелкопряда в европейской России / Н. И. Лямцев, А. С. Исаев, Н. В. Зукерт // Лесоведение. – 2000. – № 1. – С. 62–67.
17. Рубцов, В. В. Адаптационные реакции дуба на дефолиацию / В. В. Рубцов, И. А. Уткина. – М.: Гриф, 2008. – 300 с.
18. Ohno, Y. Variation in shoot mortality within crowns of severely defoliated *Betula maximowicziana* trees in Hokkaido, northern Japan / Y. Ohno, K. Umeki, I. Watanabe and othes // Ecol. Res. – 2008. – Vol. 23. – № 2. – P. 355–362.
19. Babst, B. A. *Lymantria dispar* herbivory induces rapid changes in carbon transport and partitioning in *Populus nigra* / B. A. Babst, R. A. Ferrieri, M. R. Thorpe, C. M. Orians // Entomologia Experimentalis et Applicata. – 2008. – Vol. 128. – № 1. – P. 117–125.
20. Каплина, Н. Ф. Динамика прироста деревьев в нагорных антропогенных дубравах южной лесостепи / Н. Ф. Каплина // Лесоведение. – 2006. – № 4. – С. 3–11.
21. Рубцов, В. В. Анализ взаимодействия листогрызущих насекомых с дубом / В. В. Рубцов, Н. Н. Рубцова. – М.: Наука, 1984. – 183 с.

Статья поступила в редакцию 10.06.10.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (№ 09-04-00560-а) и Гранта Президента РФ (РФ НШ-6959.2010.4).

V. V. Rubtsov, I. A. Utkina

**PHYLLOPHAGES IN FOREST ECOSYSTEMS
UNDER CLIMATE CHANGE CONDITIONS**

Peculiarities of interactions between phyllophagous forest insects and their host tree species under current climate change are considered. Principal results of the author's many-year observations of the population dynamics of the prevailing oak pests (the south of forest-steppe, Voronezh oblast) are given. The main weather parameters of the region are analyzed. In accordance with the data from the scientific publications, it is shown that climate change is noted everywhere and it is accompanied by the changing ranges of many plant and animal species. Therefore, some quantitative and qualitative estimates of their trophic interactions are also changing.

Key words: climate changes, phyllophages, host trees, oak stands in forest-steppe.

РУБЦОВ Василий Васильевич – доктор биологических наук, заведующий лабораторией экологии широколиственных лесов Института лесоведения РАН. Область научных интересов – лесная экология, дубравы, филлофаги, математическое моделирование. Автор более 100 публикаций.

E-mail: vrubtsov@mail.ru

УТКИНА Ирина Анатольевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии широколиственных лесов Института лесоведения РАН. Область научных интересов – лесная экология, филлофаги, дефолиация и рефолиация дубрав. Автор более 70 публикаций.

E-mail: UtkinaIA@yandex.ru

УДК. 630.181.22. + 630.181.65

А. А. Григорьев, П. А. Моисеев, З. Я. Нагимов

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДРЕВОСТОЕВ НА ВЕРХНЕМ ПРЕДЕЛЕ ИХ ПРОИЗРАСТАНИЯ В ГОРАХ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА

На Приполярном Урале изучены состав, структура и особенности формирования древостоев верхней границы леса на различных участках, отличающихся по мощности снежного покрова. Выявлены изменения в высотном положении верхней границы древесной растительности с начала XIX столетия. Экспансии леса благоприятствовало улучшение климатических условий. В зависимости от мощности снежного покрова меняются тенденции, характер и скорость заселения древесной растительностью ранее безлесных территорий.

Ключевые слова: *верхняя граница леса, структура древостоев, Larix sibirica, Betula tortuosa, изменения климата, Приполярный Урал.*

Введение. Верхняя граница леса с давних времен привлекала внимание исследователей, особенно вырос интерес к ее изучению в последние десятилетия в связи с проблемой потепления климата [1]. Это связано с тем, что лесные сообщества на верхнем пределе их произрастания находятся в нестабильных, экстремальных условиях среды и наиболее чувствительны к изменению климатической обстановки.

Исследованиями последних лет на Полярном [2], Северном [3] и Южном Урале [4] был выявлен факт расселения подроста выше границы леса и ее продвижение вверх на 30–80 м по вертикали в течение последних 60–80 лет. На Приполярном Урале подобные исследования не проводились, хотя данный район существенно отличается от остальных сравнительно большой шириной горной полосы (60–110 км), значительными высотами основных горных хребтов (от 1000 до 1800 м над уровнем моря), типично горным характером климата, максимальным для всего Урала количеством осадков, большой площадью безлесных горных территорий, прохождением через ее территорию северной границы распространения таких важнейших древесных пород, как пихта сибирская и кедр сибирский.

Цель работы – изучить состав, структуру и особенности формирования древостоев в различных лесорастительных условиях лесотундрового экотона на склонах гор Нер-Ойка, Сале-Пасне-Нер и Хусь-Ойка (юго-восточная часть Приполярного Урала).

Объекты и методика исследований. Район исследований находится в южной части Исследовательского края Приполярного Урала в бассейне р. Кобыла-Ю. Данная территория характеризуется сложным орографическим строением, сравнительно большими абсолютными высотами (до 1645 м), глубоко и сильно расчлененным рельефом, широким распространением альпийских форм и следов четвертичного оледенения, многолетнемерзлых грунтов, ледников и снежников, гольцовых поверхностей и мерзлотно-солифлюкационных образований. Климат резко континентальный, суровый, зима холодная и многоснежная. Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова

– 200–240 дней. Лето короткое и прохладное. Годовое количество осадков достигает 1500 мм. Вблизи верхней границы леса (на высоте 500 – 700 м над уровнем моря) мощность снежного покрова колеблется от 0,1 до 5 м. Зимой в горах часто дуют сильные ветры (порой до 20–30 м/с), в основном, западных румбов. Реки отличаются высокой водоносностью, а их питание преимущественно снеговое. Сомкнутые леса поднимаются в горы в среднем до высоты 550–650 м над уровнем моря, а по долинам рек еще выше (до 750 м). Чем выше высота над уровнем моря, тем больше в составе древостоев доля лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.). Верхнюю границу леса составляют почти исключительно лиственничники в сочетании с извилисто березовыми криволесьями (*Betula tortuosa* Ledeb.) и зарослями ольховника (*Alnaster fruticosus* Rupr.). Выше границы леса с увеличением высоты альпийские луга, кустарниковые и кустарничковые заросли из полярной березки (*Betula nana* L.), багульника (*Ledum decumbens* (Ait.) Small) и голубики (*Vaccinium uliginosum* L.) уступают место лишайниково-моховым тундрам и каменным россыпям [5].

В 2007 году были заложены три высотных профиля: два на северо-восточном склоне горы Хусь-Ойка (64°30'57"с.ш.; 59°44'49"в.д.) и один на юго-восточном склоне горы Нер-Ойка (64°33'37"с.ш.; 59°33'19"в.д.). В 2009 году на северном склоне горы Сале-Пасне-Нер (64°30'41"с.ш.; 59°37'05"в.д.) на ветробойных участках был дополнительно заложен еще один профиль. Профили расположены в *эктоне верхней границы древесной растительности* (ЭВГДР), под которым понимается переходный пояс в горах между верхними границами распространения сомкнутых лесов и отдельных деревьев в тундре. По П. Л. Горчаковскому и С. Г. Шиятову [6], он включает несколько категорий площадей в пределах ЭВГДР: *верхняя граница сомкнутых лесов* (сомкнутость крон 0,4–0,5), *верхняя граница редколесий* (сомкнутость крон 0,2–0,3), *верхняя граница групп деревьев (редин)* (сомкнутость крон 0,05–0,1), *верхняя граница отдельных деревьев* (сомкнутость крон менее 0,05). На каждом профиле фиксировались три высотных уровня: нижний – у верхней границы сомкнутых лесов (570–620 м над уровнем моря), средний – у верхней границы редколесий (630–680 м над уровнем моря), верхний – у верхней границы редин (690–730 м над уровнем моря). На высотных уровнях заложено от 22 до 36 пробных площадей размером 20х20 м. На них для каждого живого или усохшего дерева определялись следующие характеристики: высота дерева, диаметр ствола у основания и на высоте 1,3 м, диаметр проекции кроны по двум направлениям. Для определения возраста у деревьев диаметром более 3 см брали буровой образец древесины (кern) на высоте 25 см от основания, а у более тонких и усохших выпиливали диск у основания ствола.

Математико-статистическая обработка экспериментальных материалов проводилась при помощи компьютерных программ Microsoft Office Excel 2003 и Statistica 6.0. Возраст деревьев определялся стандартными дендрохронологическими методами с использованием мастер-хронологии (графика погодичного изменения индексов радиального прироста) исследуемого района [7]. Затем все деревья на пробных площадях были сгруппированы в пятилетние возрастные группы. Таким образом, было известно общее количество деревьев, появившихся в тот или иной год в течение последних столетий. На основе этих данных были построены распределения деревьев лиственницы и березы по календарным годам их появления. Средние таксационные показатели древостоев на пробных площадях определялись в соответствии с общепринятыми в лесной таксации методами. Деревца высотой до 1,5 м относились к подросту. Запас древостоев не определялся. Это связано с тем, что с учетом особенностей исследуемых объектов рубка модельных деревьев не производилась, а имеющиеся таблицы объемов стволов оказа-

лись не пригодными для использования их в древостоях верхней границы леса. В связи с этим состав древостоев определялся по соотношению количества деревьев древесных пород и сумм площадей их сечений. В целом, были определены таксационные показатели около 3900 деревьев на общей площади 6,5 га и взято 2250 образцов древесины для определения их возраста.

В конце марта 2010 года для изучения снегонакопления на пробных площадях и прилегающих к ним участках производилось измерение мощности снежного покрова путем покраски стволов деревьев на уровне снега и последующего измерения высоты в летнее время.

Изменение климатической обстановки за период с 1888 по 2008 гг. оценивалось по метеоданным, собранным на метеостанциях Троицко-Печерское, Печера и Саранпауль.

Результаты исследований

Особенности условий мест произрастания древостоев. На обоих профилях, заложенных в ЭВГДР горы Хусь-Ойка, почвы по режиму увлажнения относятся к свежим. Крутизна склона уменьшается с 15 до 5° по мере продвижения от нижнего уровня к среднему и увеличивается с 5 до 10° – от среднего к верхнему. Глубина снежного покрова на первом профиле увеличивается с уменьшением высоты над уровнем моря (от 1,0 до 1,4 м), а на втором незначительно изменяется при переходе от нижнего уровня к среднему (от 1,2 до 1,5 м) и существенно – при переходе от среднего к верхнему уровню (от 1,5 до 0,7 м). Отмеченный режим снегонакопления, по-видимому, объясняется особенностями мезорельефа на различных участках склона.

Почвы на всех высотных уровнях профиля горы Нер-Ойка тоже свежие. Крутизна склона увеличивается от 10 до 25° по мере продвижения от нижнего уровня к верхнему. Глубина снежного покрова уменьшается со снижением высоты над уровнем моря (от 1,6 до 1,0 м).

Все ветробойные участки горы Сале-Пасне-Нер расположены на перевалах, и крутизна склонов составляет не более 5°. Почвы по режиму увлажнения относятся к периодически сухим. Глубина снежного покрова незначительно (от 0,2 до 0,5 м) увеличивается с уменьшением высоты над уровнем моря.

Все изучаемые объекты нами были разделены на среднеснежные (фоновая мощность снежного покрова на конец зимы 1,0–2,0 м) и малоснежные (до 0,5 м).

Состав, структура и особенности формирования древостоев. Результаты соответствующих расчетов свидетельствуют, что на северо-восточном склоне горы Хусь-Ойка в составе древостоев встречаются только две породы – береза и лиственница. Заметны существенные различия в их соотношениях на отдельных участках.

На одной трети пробных площадей нижнего и верхнего уровней (на среднем уровне такие участки не были найдены) первого профиля наибольшее участие в сложении древостоев принимает береза (табл. 1). Особенно заметно ее превосходство над лиственницей по количеству стволов. В подросте кроме березы и лиственницы здесь встречается и кедр. На верхнем уровне в составе подроста доминирует береза (57 %), а на нижнем – лиственница (48 %). Доля кедра на верхнем уровне значительно выше (22 %), чем на нижнем (8 %) (табл. 2). Таксационные показатели древостоев лиственницы и березы (табл. 3) на участках с доминированием последней существенно изменяются в зависимости от высоты над уровнем моря. Так, по мере продвижения от нижнего уровня к верхнему средние значения диаметра, высоты и возраста деревьев обеих пород уменьшаются в 1,5–3 раза, густота древостоев – 8–11 раз, сумма проективного покрытия крон – в 14–18 раз. На нижнем уровне возраст самых старых деревьев лиственницы близок к 140 годам. К концу XIX века здесь произрастало около 15% ныне растущих лиственниц, но массовое заселение ею этого уровня произошло лишь в 1890–1960 гг.

(рис. 1, А). Береза на этом уровне стала появляться лишь в начале XX века (рис. 2, А), но в период с 1930–1950 гг. она стала активно заселять подобные участки и к концу столетия по количеству стволов уже в 4–5 раз превосходила лиственницу. На верхнем уровне первые лиственницы начали появляться в 1930-х гг., а основная масса ныне растущих в небольшом количестве (38 шт./га) деревьев данной породы заселилась в 1950–1970 гг. Береза отставала от лиственницы по времени массового появления на данном уровне (на 20 лет). Однако в настоящее время деревьев березы существенно больше (более чем в 4 раза), чем лиственницы.

Т а б л и ц а 1

Доля деревьев лиственницы (Лц), березы (Б) и кедра (К) в составе древостоев на различных высотных уровнях исследуемых профилей, %

Высотный уровень	Местообитания	Среднеснежные							Малоснежные	
	Горный массив	Хусь-Ойка (I)		Хусь-Ойка (II)		Нер-Ойка			Сале-Пасне-Нер	
	Древесная порода	Лц	Б	Лц	Б	Лц	Б	К	Лц	К
Нижний	по полноте	47	53	89	11	94	2	4	82	18
	по густоте	16	84	51	49	77	13	10	70	30
Средний	по полноте	-	-	99	1	100	0	0	100	0
	по густоте	-	-	89	11	100	0	0	100	0
Верхний	по полноте	42	58	97	3	94	6	0	100	0
	по густоте	20	80	73	27	42	58	0	100	0

Т а б л и ц а 2

Количество подроста лиственницы (Лц), березы (Б) и кедра (К) на различных высотных уровнях исследуемых профилей, шт./га

Местообитания		Среднеснежные									Малоснежные		
Горный массив		Хусь-Ойка (I)			Хусь-Ойка (II)			Нер-Ойка			Сале-Пасне-Нер		
Древесная порода		Лц	Б	К	Лц	Б	К	Лц	Б	К	Лц	Б	К
Высотный уровень	Нижний	150	138	25	223	100	67	17	0	150	221	150	17500
	Средний	-	-	-	132 2	13	158	139	0	182	23	0	15200
	Верхний	20	52	20	24	29	0	77	33	8	6	0	25600

На втором профиле горы Хусь-Ойка в составе древостоев на всех уровнях преобладает лиственница (табл. 1). Береза здесь значительно уступает лиственнице как по сумме площадей сечения, так и по густоте. В составе подроста лиственница доминирует лишь на верхнем и среднем уровнях (табл. 2). Изменения таксационных показателей древостоев на участках с доминированием лиственницы имеют те же тенденции, что и на тех, где доминирует береза. С увеличением высоты над уровнем моря существенно уменьшаются средний диаметр и высота, возраст, густота и сумма проекции крон деревьев обеих пород. Особенно заметны изменения при переходе от верхнего уровня к среднему (табл. 3). Заселение лиственницей нижнего уровня началось в начале XVIII века. Однако этот процесс протекал достаточно слабо. К концу XVIII века на данном участке произрастало только 10–15 % ныне растущих деревьев. Массовое заселение его лиственницей произошло в 1920–1965 гг. (рис. 1, Б). Береза стала появляться здесь лишь в начале XX века (рис. 2, Б), а наиболее активно заселяться – только в 1950–1970 гг.

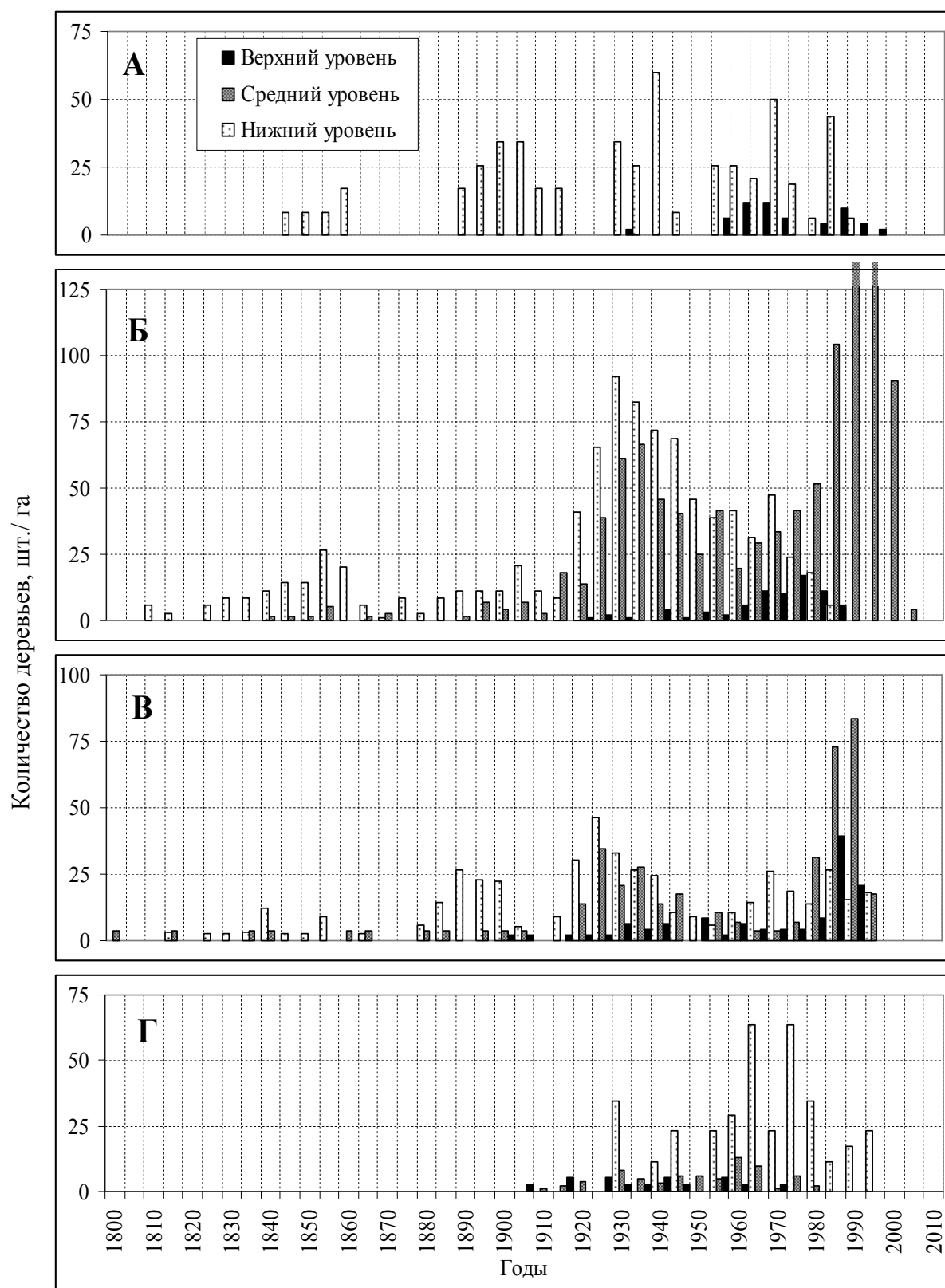


Рис. 1. Распределение количества деревьев лиственницы по периодам их появления на различных высотных уровнях исследуемых профилей: А) профиль I на горе Хусь-Ойка; Б) профиль II на горе Хусь-Ойка; В) гора Нер-Ойка; Г) гора Сале-Пасне-Нер

На среднем уровне процессы формирования лиственных древостоев шли по аналогичному сценарию, но с явным смещением их интенсивности на период после 1920 года. Деревьев березы на данном участке слишком мало, чтобы говорить о ее заселении. На верхнем уровне лиственница стала заселяться значительно позже (в начале XX века) и основная масса небольшого количества (40–50 шт./га) ныне растущих ее деревьев появилась здесь после 1970 года. Заселение данных участков березой началось только в 1960-е годы.

Т а б л и ц а 3

**Средние таксационные показатели древостоев лиственницы и березы
на различных высотных уровнях исследуемых профилей**

Высотные уровни	Средние показатели деревьев				Площадные характеристики	
	диаметр, см	высота, м	возраст, лет	диаметр кроны, м	густота, шт./га	сумма проекций крон, м ² /га
Лиственничные древостой						
Среднеснежные участки горы Хусь-Ойка (профиль I)						
нижний	14,6±1,2	7,7±0,5	99±6	2,6±0,3	319	2495
верхний	6,0±0,6	3,4±0,2	44±2	2,0±0,2	38	134
Среднеснежные участки горы Хусь-Ойка (профиль II)						
нижний	13,3±0,5	7,4±0,2	90±2	2,5±0,1	625	3830
средний	13,0±0,4	6,6±0,2	71±2	2,7±0,1	456	3347
верхний	3,7±0,3	2,8±0,1	42±2	1,7±0,1	51	134
Среднеснежные участки горы Нер-Ойка						
нижний	18,4±1,1	10,2±0,5	94±5	3,7±0,2	413	5184
средний	16,3±0,7	8,2±0,3	83±3	3,6±0,1	279	3423
верхний	12,2±1,4	5,3±0,5	58±4	3,7±0,4	48	451
Малоснежные участки горы Сале-Пасне-Нер						
нижний	2,8±0,3	2,5±0,1	45±2	1,4±0,1	196	365
средний	3,9±0,3	2,8±0,1	57±2	1,6±0,1	49	127
верхний	3,4±0,5	2,7±0,3	79±5	2,2±0,1	28	66
Березовые древостой						
Среднеснежные участки горы Хусь-Ойка (профиль I)						
нижний	6,3±0,29	4,8±0,16	58±1,1	2,0±0,07	1669	6578
верхний	3,2±0,21	2,8±0,09	30±0,8	1,8±0,08	154	462
Среднеснежные участки горы Хусь-Ойка (профиль II)						
нижний	4,5±0,24	4,1±0,12	45±1,4	1,7±0,05	598	1629
средний	4,5±0,49	3,4±0,22	34±2,3	1,7±0,11	54	139
верхний	1,2±0,21	2,0±0,10	29±2,0	1,1±0,14	19	23
Среднеснежные участки горы Нер-Ойка						
нижний	6,9±0,73	6,1±0,77	49±3,6	2,8±0,24	96	451
верхний	2,6±0,26	2,5±0,13	30±1,4	1,7±0,11	77	118

В древостоях (ЭВГДР) на юго-восточном склоне горы Нер-Ойка в составе древостоев на всех высотных уровнях преобладает лиственница, причем на среднем это единственная порода, образующая насаждение (табл. 1). Береза встречается здесь в незначительных количествах на нижнем (2 %) и верхнем уровнях (6 %). Кедр принимает участие в формировании древостоев только на нижнем уровне (4 %). Следует отметить

значительное увеличение роли кедра в возобновлении на нижнем и среднем уровнях (табл. 2). Таксационные показатели березы и лиственницы также увеличиваются с уменьшением высоты над уровнем моря (табл. 3). Массовое заселение ранее безлесных территорий лиственницей происходило по аналогичному сценарию, как и на втором профиле горы Хусь-Ойка (рис. 1, В).

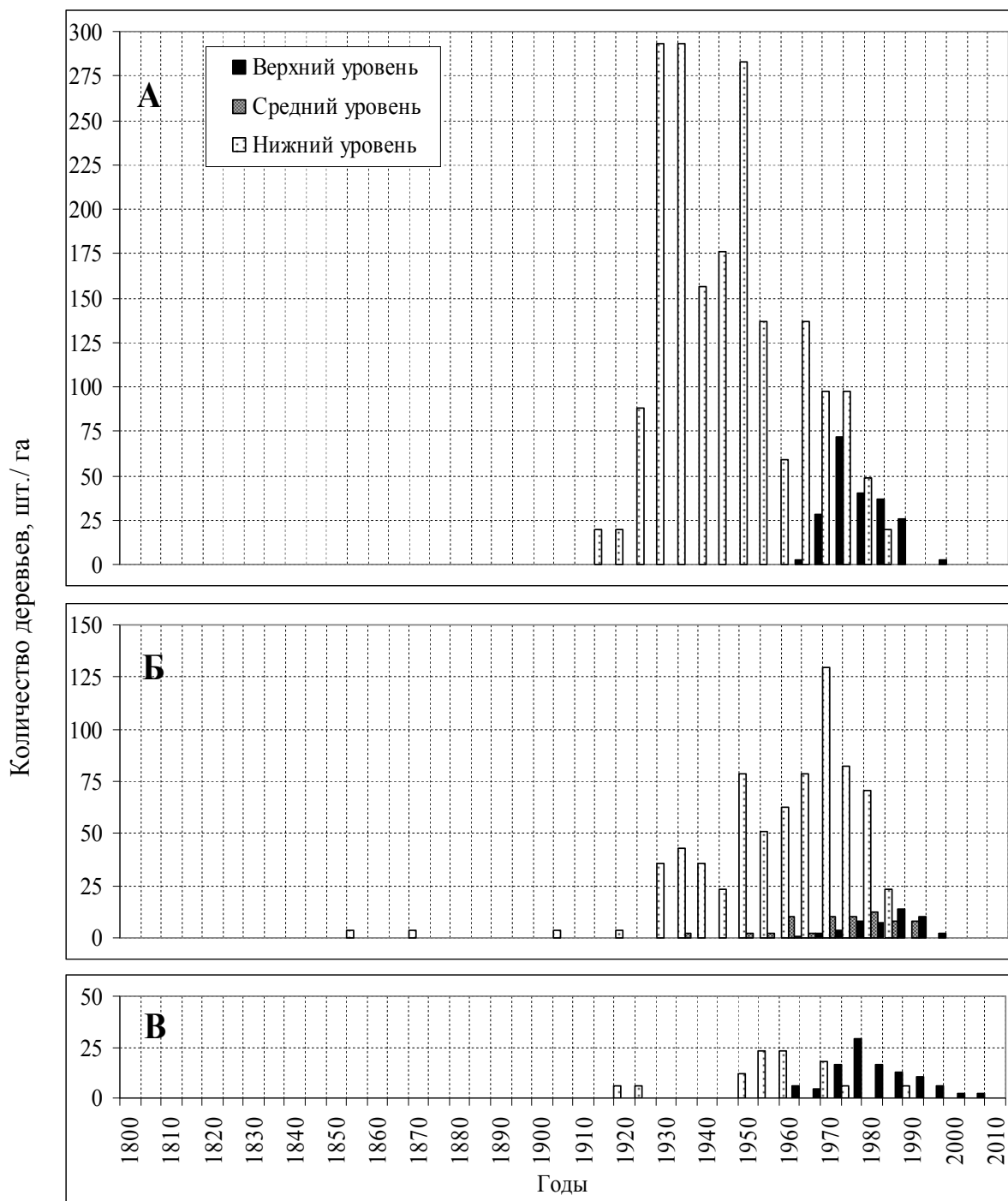


Рис. 2. Распределение деревьев березы по периодам их появления на различных высотных уровнях исследуемых профилей: А) профиль I горы Хусь-Ойка; Б) профиль II горы Хусь-Ойка; В) гора Нер-Ойка

На изученных участках склона горы Сале-Пасне-Нер древостой в основном формируются лиственницей. Лишь на нижнем уровне профиля в составе древостоев в небольшом количестве присутствует кедр (табл. 1). Профиль на горе Сале-Пасне-Нер отличается от вышерассмотренных значительным количеством подроста. Причем на всех высотных уровнях в составе подроста доминирует кедр (табл. 2). Таксационные показатели лиственничников здесь в отличие от лиственничников на горах Хусь-Ойка и Нер-Ойка в большинстве случаев характеризуются меньшими значениями (табл. 3). Заселение всех трех уровней рассматриваемого профиля началось только в начале XX века (рис. 1, Г). В настоящее время даже на нижнем уровне количество деревьев не превышает 200 шт./га.

Обсуждение результатов. Приведенные выше материалы свидетельствуют, что на всех исследуемых склонах происходило повышение верхней границы древесной растительности. Причем характер и тенденции данного процесса варьировали в зависимости от локальных условий местопроизрастания. Так, поднятие верхней границы леса началось на средних по мощности снежного покрова участках, и первой стала заселять ранее безлесные территории лиственница. Причем количество деревьев данной породы на первом профиле горы Хусь-Ойка значительно больше, чем на горе Нер-Ойка (второй склон более крутой и ветрообдуваемый). На втором профиле горы Хусь-Ойка лиственница начала заселяться позже (на 40 лет), а на малоснежных участках горы Сале-Пасне-Нер – еще позднее (на 100 лет). Следует отметить увеличение доли березы в составе древостоев на втором профиле горы Хусь-Ойка. Специальные исследования С. Г. Шиятова [8] на Полярном Урале показали, что на многоснежных местообитаниях стволы от основания до высоты снежного покрова очищены от более или менее крупных сучьев. Крона у них развита лишь в верхней части, выше уровня снега, и по бессучковой зоне можно довольно легко определить мощность снежного покрова. Им также установлено, что на таких участках после 10–15-летнего возраста подрост лиственницы испытывает угнетение из-за краткости вегетационного периода. Наши исследования показали, что в среднем глубина снега, определенная по высоте бессучковой части, на первом профиле горы Хусь-Ойка превышает 3 м. По-видимому, ранее в зимнее время здесь отлагалось значительно большее количество снега (по мере продвижения верхней границы леса вдоль по склону мощность снежного покрова меняется). Доминирование березы на данных участках можно объяснить лишь ее способностью произрастать на многоснежных местообитаниях с укороченным периодом вегетации. Подобную тенденцию наблюдали и другие исследователи на Северном Урале [3, 9].

Результаты наших исследований свидетельствуют, что поднятие верхней границы леса связано с изменением климатической обстановки (табл. 4). Так, сравнение климатических показателей по данным метеостанций Троицко-Печорское, Печора и Саранпауль за два периода (с 1888 по 1920 гг. и с 1961 по 2000 гг.) показывает, что в теплый период года (май–сентябрь) существенных изменений в температурном режиме не произошло. Однако для холодного периода года (ноябрь–март) характерно значительное повышение среднемесячных температур (в среднем на 1,3 °C). За период с конца XIX по конец XX века увеличилось количество летних осадков (на 22 мм) и значительно – глубина снежного покрова. В целом можно отметить, что в исследуемом районе климат стал более теплым и влажным.

Как показывают наши исследования, существенное влияние на динамику верхней границы леса оказывают локальные условия местопроизрастания, в частности, мощность снежного покрова. Этот факт отмечают и другие исследователи [10–12]. Это объясняется тем, что в условиях высокогорий создаются экстремальные условия для выживания и роста подроста. Он подвергается морозному выжиманию, повреждению хо-

Т а б л и ц а 4

**Изменения климатических показателей по данным метеостанций Троицко-Печорское,
Печора, Саранпауль за период с 1888 по 2000 гг.**

Станции	Сравниваемые периоды	Месяцы													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	6-8	11-3
Температура воздуха, град.С															
Саранпауль	1961–2000	-23,4	-20,6	-10,9	-3,7	3,9	12,1	16,3	12,3	6,1	-2,9	-14,4	-20,4	13,5	-17,9
	1888–1920	-24,0	-20,8	-13,8	-3,5	3,8	12,0	16,1	12,6	6,2	-3,7	-15,6	-21,8	13,6	-19,2
	Различия	0,6	0,2	2,9	-0,2	0,1	0,1	0,1	-0,4	-0,1	0,8	1,2	1,4	0,0	1,3
Печора	1961–2000	-19,9	-17,0	-9,1	-3,3	3,5	11,7	16,0	11,9	6,3	-1,6	-10,6	-15,9	13,2	-14,5
	1888–1920	-20,3	-17,6	-12,3	-3,3	3,2	11,3	15,6	12,3	6,3	-2,5	-12,0	-18,0	13,1	-15,8
	Различия	0,5	0,6	3,2	0,0	0,2	0,4	0,4	-0,4	0,0	0,8	1,4	2,2	0,1	1,3
Троицко-Печорское	1961–2000	-18,3	-15,6	-7,3	-0,5	6,0	12,9	16,3	12,3	6,7	-0,8	-9,3	-14,7	13,9	-13,0
	1888–1920	-18,9	-15,9	-9,6	-0,5	5,7	12,8	16,0	12,8	6,8	-1,6	-10,5	-16,7	13,9	-14,3
	Различия	0,6	0,4	2,3	0,0	0,2	0,2	0,3	-0,5	-0,1	0,8	1,2	2,0	0,0	1,3
Количество осадков, мм															
Троицко-Печорское	1961–2000	43	33	30	37	52	63	71	77	61	67	54	48	212	208
	1921–1960	24	16	19	23	42	59	64	57	62	47	30	26	181	114
	1889–1918	26	17	19	24	45	56	63	69	59	45	33	30	190	128
	Различия	17	15	11	13	7	7	8	8	2	22	21	19	22	80

лодным воздухом, снежной абразии, морозному иссушению. Поэтому подросту необходима защита снежного покрова. Древесные породы неодинаково требовательны к количеству снега. Так, для березы, в отличие от лиственницы, благоприятны влажные и слабо промерзающие почвы на многоснежных участках с укороченным периодом вегетации [13]. По нашим наблюдениям, наиболее оптимальные условия для экспансии лиственницы формируются на среднеснежных участках, где она превосходит все породы и по количеству, и по таксационным показателям, и активно поднимается в горы. Береза является здесь сопутствующей породой.

Формировать древостой в экстремальных условиях малоснежных участков, по-видимому, может только лиственница. Значительное количество подроста кедра, на наш взгляд, связано с заносом его семян кедровкой. Подобные результаты наблюдались в горах Западного Саяна [14].

Результаты наших исследований подтверждают и дополняют выводы С. Г. Шиятова [8] о том, что оптимальная глубина снежного покрова для выживания и роста лиственницы на верхней границе леса составляет 100–200 см, минимально необходимая – 50 см.

Выводы. В целом результаты наших исследований позволяют констатировать поднятие верхней границы древесной растительности вдоль высотного градиента за последние два столетия. Экспансии леса благоприятствовало улучшение климатических условий. Зимы стали теплее и многоснежнее. Характерной особенностью заселения лесной растительностью вышележащих территорий является цикличность. Этот факт – прямое подтверждение того, что в жестких условиях высокогорий для успешного роста древесных растений необходимо оптимальное сочетание температурного и ветрового режимов, мощности снежного покрова, влажности почвы. В зависимости от мощности снежного покрова меняются тенденции, характер и скорость заселения ранее безлесных территорий. Так, на среднеснежных участках лиственница стала заселять безлесные территории в начале XIX века, а в малоснежных – только в XX веке. Береза стала заселяться позднее (начало XX века) и активно укрепляет свои позиции по настоящее время.

Список литературы

1. Harsch, M. A. Are treelines advancing? A global meta-analysis of treeline response to climate warming / M. A. Harsch, P. E. Hulme, M. S. McGlone, R. P. Dunca // *Ecology Letters*. – 2009. – № 12. – P. 1040–1049.
2. Шиятов, С. Г. Пространственно-временная динамика лесотундровых сообществ на Полярном Урале / С. Г. Шиятов, М. М. Терентьев, В. В. Фомин // *Экология*. – 2005. – № 2. – С. 1–8.
3. Бартыш, А. А. Закономерности формирования древостоев на верхней границе леса в условиях современного изменения климата (на примере Тылайско-Конжаковско-Серебрянского горного массива): автореф. дис. канд. с.-х. наук. – Екатеринбург, 2008. – 22 с.
4. Моисеев, П. А. Влияние изменений климата на формирование поколений ели сибирской в подгольцовых древостоях Южного Урала / П. А. Моисеев, М. Ван дер Меер, А. Риглинг, И. Г. Шевченко // *Экология*. – 2004. – № 3. – С. 1–9.
5. Долгушин, Л. Д. Некоторые особенности рельефа, климата и современной денудации в Приполярном Урале / Л. Д. Долгушин. – М.: Изд-во АН СССР, 1951. – 207 с.
6. Горчаковский, П. Л. Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях / П. Л. Горчаковский, С. Г. Шиятов. – М.: Наука, 1985. – 208 с.
7. Шиятов, С. Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале / С. Г. Шиятов. – М.: Наука, 1986. – 136 с.
8. Шиятов, С. Г. Снежный покров на верхней границе леса и его влияние на древесную растительность / С. Г. Шиятов. – Труды Института экологии растений и животных. – 1969. – Вып. 69. – С. 141–157.
9. Капралов, Д. С. Изменения в составе, структуре и высотном положении мелколесий на верхнем пределе их произрастания в горах Северного Урала / Д. С. Капралов, С. Г. Шиятов, П. А. Моисеев, В. В. Фомин // *Экология*. – 2006. – № 6. – С. 403–409.

10. Kammer, A. Upward-shifting treelines change soil organic matter dynamics in the Ural mountains / A. Kammer, F. Hagedorn, I. Shevchenko et al. // *Global Change Biology*. – 2009. – № 15. – P. 1570–1583.
11. Tierney, G. L. Soil freezing alters fine root dynamics in a northern hardwood forest / G. L. Tierney et al. // *Biogeochemistry*. – 2001. – Vol. 56. – P. 175–190.
12. Weih, M. Low winter soil temperature affects summertime nutrient uptake capacity and growth rate of mountain birch seedlings in the Subarctic, Swedish Lapland / M. Weih, S. Karlsson // *Arct., Antarct., and Alp. Res.* – 2002. – V. 34. – № 4. – P. 434–439.
13. Kullmun, L. 20 th century climate warming and tree-limit rise in the Southern Scandes of Sweden / L. Kullmun // *Ambio*. – 2001 – Vol. 30. – № 2. – P. 72 – 80.
14. Харук, В. И. Древесная растительность экотона лесотундры Западного Саяна и климатические тренды / В. И. Харук, К. Дж. Ренсон, С. Т. Им, М. М. Наурзбаев // *Экология*. – 2008. – № 1. – С. 10–15.

Статья поступила в редакцию 01.10.10.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов РФФИ-07-04-00850, РФФИ- 08-04-00208

A. A. Grigoryev, P. A. Moiseev, Z. Ya. Nagimov

PECULIARITIES OF FOREST STANDS FORMATION AT THE UPPER BOUND OF ITS GROWING IN THE MOUNTAINS OF THE NETHER-POLAR URAL

In the Nether-Polar Urals the compound, the frame and the singularities of the forest stand forming of the forest upper bound on the various districts, which differ from snowpack intensity, are learnt. The changes in high-altitude position of the upper bound of a forest cover since the beginning of the XIXth century are determined. Forest expansion was favoured by some environmental conditions improvement. According to the snow pack intensity, tendencies, character and the velocity of the forest cover settlement of earlier treeless territories are changing.

Key words: forest upper bound, forest stand frame, *Larix sibirica*, *Betula tortuosa*, climate changes, Nether-Polar Urals.

ГРИГОРЬЕВ Андрей Андреевич – аспирант кафедры лесоустройства и лесной таксации Уральского государственного лесотехнического университета (Екатеринбург). Область научных интересов – исследования реакции высокогорных лесных экосистем на изменение климата. Автор семи публикаций.

E-mail: g.alena.v@mail.ru

МОИСЕЕВ Павел Александрович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории дендрохронологии Института экологии растений и животных УрО РАН. Область научных интересов – экология, геоботаника, изменение климата, верхняя граница леса. Автор 43 публикаций.

E-mail: moiseev@ipae.uran.ru

НАГИМОВ Зуфар Ягфарович – доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой лесоустройства и лесной таксации Уральского государственного лесотехнического университета (Екатеринбург). Область научных интересов – структура и динамика фитомассы древостоев основных лесообразующих пород Урала и Западной Сибири. Автор более 200 публикаций, в том числе шести монографий.

E-mail: nagimov@usfeu.ru

УДК 581. 526.33 + 630*181 (470.343)

Ю. П. Демаков, М. Г. Сафин, Г. А. Богданов**ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ
ВЕРХОВЫХ БОЛОТ МАРИЙСКОГО ПОЛЕСЬЯ**

Проведена системная оценка лесорастительных условий верховых болот Марийского Полесья по физическим и химическим показателям торфяной залежи и грунтовых вод, а также по характеру нанорельефа. Сделан вывод о большой изменчивости всех параметров и необходимости дифференциации верховых болот на ряд подтипов.

Ключевые слова: верховые болота, лесорастительные условия, торф, грунтовые воды, физические и химические параметры, нанорельеф.

Введение. Неотъемлемой частью ландшафтов всей бореальной зоны являются болота и заболоченные леса, играющие важную роль в обеспечении нормального протекания многих природных процессов на локальном, региональном и глобальном уровнях [1]. Особенно велика их роль в депонировании углерода [2–5], мощные залежи торфа в которых являются прямым подтверждением данного положения. Несмотря на давний интерес исследователей к этим довольно специфическим экосистемам и огромный накопленный материал [6, 7], вопрос об особенностях их лесорастительных условий, которые имеют сугубо региональный характер, раскрыт далеко не полностью.

Цель работы – установить особенности лесорастительных условий верховых болот Республики Марий Эл.

Объекты и методика. Болота, под которыми понимаются земли с наличием залежи торфа глубиной более 30 см [8], занимают в Марий Эл, относящейся к Камско-Ветлужской болотной провинции [6], порядка 100 тыс. га (4,3% территории), из которых 39% приходится на верховые болота [9], являющиеся в своем роде уникальными, поскольку далее на юг в правобережье Волги они встречаются уже значительно реже и не образуют крупных массивов. Расположены верховые болота главным образом в пределах Марийской песчаной низменности (Марийского Полесья), протянувшейся широкой полосой вдоль левого берега Волги от Ветлуги до Малой Кокшаги. Основные их массивы приурочены к слабо дренированному участку песчаной равнины в междуречье Рутки и Б. Кокшаги, являющемуся самой заболоченной частью республики. Площадь болот изменяется от 2,5 до 9502 га, средняя площадь составляет 402 га. Площадь большинства (70%) болот не превышает 100 га. Доля болотных массивов более 1 тыс. га составляет 11% площади. Наиболее крупным является гетеротрофный Шамьяро-Куплонгский болотный массив (7878 га), а чисто олиготрофным – Лешачье болото (1597 га).

Исходным материалом для анализа служили материалы отчета «Составление и издание кадастров торфяных и сапропелевых месторождений Республики Марий Эл» [10], таксационные описания болотных биогеоценозов Марийской низменности (4529 выделов общей площадью 30789 га в ТЛУ А₅), а также данные натурных учетов, проведенных на 26 пробных площадях в сосняках сфагновых различного возраста (от 15

до 260 лет), произрастающих на девяти болотных массивах в различных лесничествах республики и в заповеднике «Большая Кокшага». На всех болотных массивах проведен замер мощности торфяного пласта по ходовым линиям с расположением пикетов через 20 м, а на пробных площадях – сплошной пересчет деревьев и оценка состояния подпологовой растительности. Результаты исследований по этим частным вопросам нашли отражение в публикациях [11–14]. Оценка лесорастительных условий болот включала в себя: слежение за сезонной и многолетней динамикой уровня грунтовых вод [15], определение их физико-химических свойств по 16 параметрам, проведенное в аккредитованной лаборатории ГУП ТЦ «Маргеомониторинг» [16], а также измерение параметров нанорельефа. Для этого на 17 пробных площадях проведена с помощью строительного уровня и реек нивелирная съемка (три хода по 10 м на пробной площади, в общей сложности 510 м) с измерением профиля через 20 см. Дополнительно на каждой пробной площади было заложено по пять площадок размером 5х5 м, на которых подсчитано количество кочек и бугорков, определены их размеры по высоте, длине и ширине. На этих же площадках определено общее количество подростов и его распределение по формам нанорельефа. Цифровой материал обработан на ПК с использованием стандартных методов математической статистики [17] и унифицированных моделей [18].

Результаты исследования и их обсуждение. Большинство верховых болот Марийского Полесья покрыто древесной растительностью. Хотя все они относятся к одному типу лесорастительных условий А₅, древостои, произрастающие на них, существенно различаются между собой по таксационным показателям. Так, класс бонитета, который отражает потенциальную производительность древостоев, изменяется от III до Vб, а полнота, характеризующая фактически реализованную производительность, от 0,3 до 0,9. Доминируют среднеполнотные древостои V класса бонитета, довольно часто встречаются древостои IV и Va классов бонитета. В составе древостоев участвуют в основном только две породы – сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) и береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.) – однако доля их участия варьирует в больших пределах и не остается постоянной по мере развития биогеоценозов.

С чем же связано различие классов бонитета древостоев, произрастающих, казалось бы, в одном и том же типе лесорастительных условий А₅, и не является ли это ошибкой таксаторов? Натурные учеты, проведенные на пробных площадях, показали, что высота одновозрастных древостоев, возникших на вырубках и гарях верховых болот, изменяется в очень больших пределах (табл. 1), что связано с неоднородностью лесорастительных условий биотопов, исходной густотой и составом молодняков.

Т а б л и ц а 1

Границы изменчивости средней высоты древостоев сосны на верховых болотах Марий Эл

Параметр	Значения параметра в различном возрасте				
	10 лет	20 лет	30 лет	40 лет	50 лет
Минимальная высота, м	0,7	1,7	3,0	4,0	4,5
Максимальная высота, м	1,4	3,4	5,1	7,5	11,0
Размах высоты, м	0,7	1,7	2,1	3,5	6,5

Фитоценозы на верховых болотах отличаются между собой не только по производительности древостоев, но и по структуре подпологовой растительности, которая, как принято считать, является индикатором условий среды обитания. Из кустарничков наиболее часто встречаются клюква болотная и мирт болотный, из трав – пушица влага-

лищная, а из мхов – сфагнумы узколиственный и магелланский. Довольно редко встречаются черника, брусника, осоки и даже марьянник луговой. Проективное покрытие почвы травяно-кустарничковым ярусом, в состав которого входит 15 видов, изменяется от 12,4 до 73,0%, а моховым, состоящим из 11 видов, – от 81 до 100%. Наиболее высокое проективное покрытие имеет в большинстве случаев сфагнум узколиственный (48,3%), за которым следует сфагнум магелланский (26,5%), однако величина показателя варьирует по биотопам в очень больших пределах (от 6,7 до 91,5% у первого вида и от 0 до 77% у второго). Надземная фитомасса всех кустарничков изменяется от 111,6 до 224,7 г/м² (1,13–2,25 т/га). Доминирует по величине фитомассы в целом мирт болотный, хотя структура кустарничкового яруса в биотопах непостоянна: его доля в общей фитомассе изменяется от 25,3 до 68,2%, багульника – от 10,3 до 27%, голубики – от 2,6 до 59,5%, черники – от 0 до 23,5%. Наименьшая доля приходится на подбел многолистный. Лесорастительные условия биотопа хорошо характеризует видовая структура мохового покрова, а также густота стеблестоя мхов [12], которая, как показывает анализ литературы [19–21], является чутким индикатором гидрологического режима болот. Величина живой фитомассы мхов в абсолютно сухом состоянии изменяется на объектах исследования от 1,60 до 4,47 г/дм² (1,6–4,47 т/га).

Таким образом, проведенные нами исследования показали, что на верховых болотах Марийского Полесья в больших пределах изменяется не только производительность древостоев, но и подпологовой растительности, а также вся структура фитоценозов, что обусловлено большой вариабельностью лесорастительных условий в данных биотопах. Это относится, прежде всего, к параметрам торфяной залежи и самого торфа, значения коэффициента вариации которых изменяются от 20,6 до 118,9% (табл. 2). Меньше всего варьируют значения плотности и кислотности торфа, а наиболее сильно изменяется показатель пнистости. Среднюю изменчивость имеют показатели степени разложения торфа и его зольности, а также содержания азота.

Т а б л и ц а 2

Изменчивость параметров торфяной залежи на верховых болотах Марийского Полесья

Параметр	Един. измер.	Значения статистических показателей					
		M _x	Min	Max	S _x	m _x	V
Мощность торфяного пласта средняя	м	1,59	0,70	8,72	1,00	0,10	63,1
Мощность торфяного пласта максимальная	м	3,69	1,00	17,8	2,91	0,28	78,9
Плотность торфа	кг/м ³	105,0	50,0	158,0	21,7	2,1	20,6
Пнистость	%	1,0	0,0	6,7	1,2	0,2	118,9
Степень разложения	%	39,2	5,0	70,0	13,9	1,36	35,4
Зольность	%	4,53	0,7	17,1	1,49	0,15	32,9
Кислотность	pH	3,33	1,90	5,50	0,73	0,07	21,9
Содержание СаО	%	0,67	0,12	1,98	0,51	0,07	76,6
Содержание азота	%	1,60	0,33	2,84	0,64	0,08	39,8
Содержание сульфатов	%	0,17	0,03	0,79	0,15	0,03	87,9
Содержание Р ₂ О ₅	%	0,10	0,02	0,32	0,07	0,01	67,6
Содержание Fe ₂ O ₃	%	0,34	0,05	1,76	0,32	0,04	94,4

По значениям параметров состояния торфяной залежи [22] часть верховых болот Марийской низменности являются скорее мезотрофными или мезоолиготрофными, чем чисто олиготрофными, однако следует принимать во внимание то положение, что торф далеко не всегда определяет структуру и продуктивность фитоценозов [23], поскольку

одинаковые его виды в разных регионах отличаются по химическому составу. Так, торф Северо-Запада богаче кальцием, чем такой же торф в средней полосе России, а в тундре содержит еще меньше кальция и магния [24]. Эти различия связаны с особенностями климата региона, подстилающих грунтов, химического состава грунтовых вод и структуры фитоценозов, во многом определяющих свойства формируемой ими торфяной залежи.

Одним из важнейших показателей плодородия болотных почв является степень разложения торфа, которая косвенно свидетельствует о насыщенности его биогенными элементами и влияет на его плотность (объемную массу). Связь между степенью разложения торфа (X , %) и его плотностью (Y , кг/м^3) довольно тесная ($R^2 = 0,52$), аппроксимируемая уравнением $Y = 112,8 \cdot [1 - \exp(-X/28,07)] + 23,9$. Степень разложения торфа зависит, в свою очередь, от содержания в нем оксида кальция (табл. 3), тормозящего этот процесс в результате снижения кислотности среды (в кислой среде процесс разложения идет быстрее). Эту связь описывает уравнение $Y = 50,85 - 18,58 \cdot [\text{CaO}]$. Снижению кислотности торфа способствует также содержание в нем соединений железа, на преобразование которых расходуется определенная часть органических кислот. Эту связь описывает уравнение $\text{pH} = 1,08 \cdot [\text{Fe}_2\text{O}_3]^{2,21} + 3,09$. Кислотность же торфа обусловлена в значительной степени деятельностью фитоценоза, корневые выделения (экзаметаболиты) которого, выполняющие те же функции, что и желудочный сок у животных, способствуют разложению органических соединений и минеральных веществ, переводя их в доступную для растений форму [25]. **Чем труднее растениям извлекать из торфа питательные вещества, тем больше они выделяют экзаметаболитов и тем кислее становится среда.** Многие химические элементы, особенно металлы, способны образовывать с органическим веществом довольно прочные соединения, которые, в зависимости от условий среды, могут мигрировать или же находиться в неподвижном состоянии [26]. Решающая роль в связывании ионов принадлежит гуминовым кислотам. При увеличении значения pH раствора усиливается комплексообразование металлов с органическими кислотами и их гидролиз [27].

Т а б л и ц а 3

Матрица коэффициентов парной корреляции между параметрами торфяной залежи

Параметр	Значение коэффициента корреляции между параметрами*							
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
Мощность пласта – X_1	1,00							
Плотность торфа – X_2	-0,44	1,00						
Степень разложения – X_3	-0,41	0,67	1,00					
Зольность торфа – X_4	-0,19	0,06	0,26	1,00				
Значение pH – X_5	0,25	-0,31	-0,31	-0,12	1,00			
Содержание CaO – X_6	0,32	-0,50	-0,53	-0,17	0,62	1,00		
Содержание азота – X_7	-0,01	0,05	0,09	0,27	0,24	-0,01	1,00	
Содержание P_2O_5 – X_8	0,14	-0,40	-0,35	0,27	0,30	0,07	0,31	1,00
Содержание Fe_2O_3 – X_9	0,16	-0,34	-0,36	0,04	0,66	0,53	0,12	0,28

* **Примечание:** жирным шрифтом выделены значения, являющиеся достоверными при $P = 0,95$

Одним из основных факторов, влияющих на процесс разложения торфа, является дефицит биогенных элементов, поставщиком которых является фитоценоз. Чем разнообразнее в видовом отношении болотный фитоценоз, тем активнее разлагается его отпад [26]; чем же проще видовая структура фитоценоза, тем менее сбалансирован элементами минерального питания формируемый ими органогенный субстрат. Таким

образом, процесс развития болот сопровождается не только сукцессиями растительных сообществ, но и уменьшением обогащенности фитомассы биогенными веществами и снижением степени разложения опада. На изменение минерального питания растения реагируют снижением продукционного процесса, что, в свою очередь, ведет к сокращению темпов торфонакопления и расхода влаги на транспирацию. В результате естественного хода сукцессии биогеоценоза происходит еще большее обводнение болот и они вступают в свою завершающую фазу развития, называемую дистрофной. В силу постоянного закрепления торфом подвижных биогенных элементов происходит постепенное отчуждение некоторой их доли из биологического круговорота, что в конечном итоге приводит к дефициту ряда компонентов питания даже у весьма нетребовательных сфагновых мхов. Следовательно, деградация сфагнового покрова на заключительных стадиях развития болот свидетельствует о том, что основной источник зольных элементов, определяющий сукцессии фитоценозов и обеспечивающий их потребность в питании, иссяк.

Значительно большее влияние на болотные фитоценозы оказывает химический состав грунтовых вод [26]. Болотную воду следует рассматривать как вытяжку, в которую из торфа переходят элементы, находящиеся в наиболее подвижном состоянии и хорошо доступные растениям. Для болотных вод характерно высокое содержание органических веществ, главным образом фульвокислот, комплексные соединения которых ответственны за миграцию многих неорганических компонентов [27]. Количество гумусовых веществ в болотных водах связано со степенью разложения торфа. Степень минерализации воды верховых болот во многом зависит от характера подстилающих грунтов и химического состава подземных вод [26–28].

Т а б л и ц а 4

Изменчивость значений химических показателей грунтовых вод на верховых болотах

Показатель	Ед. изм.	Статистика показателей				Доля влияния факторов, %		
		$M_x \pm m_x$	Min	Max	V, %	биотоп	сезон	ошибка
1. Кислотность	pH	$3,78 \pm 0,03$	3,35	4,48	6,3	25,4	56,8	17,9
2. БПК ₅	мг/дм ³	$22,5 \pm 5,2$	4,13	217	163,4	9,3	46,8	43,9
3. ХПК	то же	$381,9 \pm 27,2$	115,5	1080	50,3	38,8	25,6	35,6
4. Азот аммонийный	— " —	$6,5 \pm 0,57$	0,10	15,70	62,1	8,5	81,1	10,4
5. Нитраты	— " —	$17,5 \pm 1,49$	0,29	37,80	60,3	5,6	69,0	25,4
6. Нитриты	— " —	$0,04 \pm 0,005$	0,009	0,137	61,2	6,6	35,9	57,5
7. Хлориды	— " —	$23,7 \pm 3,6$	1,20	88,6	107,8	4,2	79,0	16,8
8. Фосфаты	— " —	$0,20 \pm 0,03$	0,00	0,83	95,7	11,4	44,8	43,8
9. Сульфаты	— " —	$27,4 \pm 3,9$	0,45	138,5	100,8	21,1	47,6	31,2
10. Кальций	— " —	$23,0 \pm 1,20$	10,1	39,3	36,8	10,9	56,0	33,1
11. Калий	— " —	$38,1 \pm 4,30$	0,21	118,7	79,8	15,7	57,5	26,8
12. Магний	— " —	$10,1 \pm 1,23$	1,22	35,6	86,0	17,9	51,0	31,1
13. Железо	— " —	$8,2 \pm 0,36$	2,81	14,6	31,3	32,8	31,9	35,3
14. Марганец	— " —	$0,25 \pm 0,03$	0,001	0,96	88,1	3,2	51,3	45,6
15. Сухой остаток	— " —	$59,9 \pm 4,6$	21,0	158,0	54,5	13,8	66,6	19,6
16. Гидрокарбонаты	$\frac{\text{мг} \cdot \text{экв}}{\text{дм}^3}$	$1,94 \pm 0,16$	0,75	5,12	59,5	6,7	73,5	19,8
17. Жесткость	$\frac{\text{мг} \cdot \text{экв}}{\text{дм}^3}$	$1,98 \pm 0,12$	1,00	4,50	43,9	8,2	72,8	19,0

Анализ исходного материала показал, что наиболее распространенным химическим элементом в болотных водах Марийского Полесья, крайне необходимым для питания

растений, является калий, концентрация которого изменяется от 0,21 до 118,7 мг/дм³ (табл. 4), что значительно превышает его содержание в водах западносибирских болот [26]. Довольно много в водах кальция, концентрация которого превышает уровень верховых болот других регионов [27], а также азота, находящегося в различных формах, магния и железа (концентрация последних выходит за зону оптимума существования растений и оказывает на них негативное воздействие). Не вполне благоприятна для растений существующая концентрация марганца, хлоридов и сульфатов, а концентрация фосфатов, наоборот, недостаточна для их нормального роста.

Все показатели состояния грунтовых вод на верховых болотах, так же как параметры фитоценозов и торфа, имеют значительную изменчивость. Наиболее значительно изменяются значения БПК₅, коэффициент вариации которых составляет 163,4%. Довольно велика изменчивость концентрации хлоридов, сульфатов, фосфатов, марганца, магния и калия ($V = 79,8\text{--}107,8\%$). Менее всего изменяется показатель кислотности среды ($V = 6,3\%$). Коэффициент вариации остальных показателей изменяется в пределах от 30 до 60%. Наибольший вклад в изменчивость значений показателей вносит в большинстве случаев фактор времени, что связано с протеканием в почвенном растворе биологических и химических процессов, а также с использованием питательных веществ растительностью. На химический состав вод оказывают влияние также выпадения атмосферной пыли и осадков, которые являются одним из основных источников поступления на верховые болота многих элементов питания растений и которые нестабильны как по количеству, так и по составу [26, 29–31]. Наиболее значительно изменяется во времени концентрация азота аммонийного, нитратов, хлоридов и гидрокарбонатов. Максимум значений первого показателя отмечается осенью, второго – зимой, третьего – летом, четвертого – осенью. Минимум же приходится соответственно на зиму, весну, осень и весну. Достоверность изменения показателей во времени подтверждают значения критерия Фишера. Различия между биотопами по большинству показателей являются недостоверными.

Продуктивность и структура фитоценозов зависят не только от химического состава грунтовых вод, но и от уровня их залегания [32], который, как показали наши многолетние наблюдения [15], подвержен значительным колебаниям. Сезонные изменения уровня грунтовых вод (УГВ) составили на стационарном объекте «Илюшкино болото» 15–43 см, а общий предел колебаний достиг 50 см (табл. 5). Наиболее значительные сезонные колебания УГВ отмечены в 1981, 1992 и 1996 гг., а наименьшие – в 1983–1985, 1990 и 1994 гг., что связано с особенностями метеоусловий данных лет. Менее всего УГВ от сезона к сезону изменяется в мае (в это время грунтовые ближе всего подходят к поверхности почвы, иногда покрывая ее слоем до 5–10 см), а наиболее сильно – в августе–сентябре, когда отмечается пик его падения. Установлено, что суточное падение УГВ при отсутствии дождя составляет в июне–июле 6–9 мм. Межсезонная динамика УГВ каждого месяца имеет свои особенности, в результате чего отсутствует полная синхронность колебаний данного показателя. Особенно асинхронны динамические ряды УГВ мая и августа, коэффициент корреляции между которыми составляет всего 0,218.

Характерной чертой болот всех типов является четкая выраженность нанорельефа в виде различного рода неровностей поверхности почвы (кочек, приствольных возвышений, заросших мхом старых пней и полуразложившихся колодин и проч.), которые отражают специфику экологических условий биотопов [33, 34], определяя особенности облика растительности и, в какой-то мере, ее продуктивности. Зольность и кислотность торфа на разных формах нанорельефа примерно одинаковы, однако нановозвышениям, размер которых по вертикали достигает 20–40 см, а занимаемая площадь 30–50%, свойственен довольно благоприятный для развития фитоценозов режим аэрации, влажности

и температуры, вследствие чего они более насыщены корнями растений, чем западинки. В условиях избытка влаги кочки часто являются единственным местом, где приживается и получает развитие самосев древесных растений. Наиболее велико экологическое значение кочек для развития растительности весной и в начале лета. Нанозападинки, будучи пересыщенными водой в течение большей части вегетационного периода, совершенно не осваиваются активными сосущими корнями растений, а лишь «прошиты» проводящими корнями, которые ветвятся в основном вокруг кочек [33]. На разных формах нанорельефа развиваются и совершенно разные виды мхов [19, 20].

Т а б л и ц а 5

**Изменчивость уровня грунтовых вод на болоте
«Илюшкино» по данным 17-летних наблюдений**

Параметр	Значение параметра по месяцам					
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Сезонный размах
Среднее значение, см	4,4	11,5	15,9	22,4	22,4	15,3
Минимум среднего за все годы, см	-3,5*	-0,4*	2,6	7,3	3,9	2,4
Максимум среднего за все годы, см	15,2	26,9	25,4	36,5	41,0	23,2
Стандартное отклонение среднего значения, см	6,3	6,8	7,0	7,7	9,4	6,0

*Примечание: знак минус означает, что грунтовые воды находились выше среднего уровня почвы.

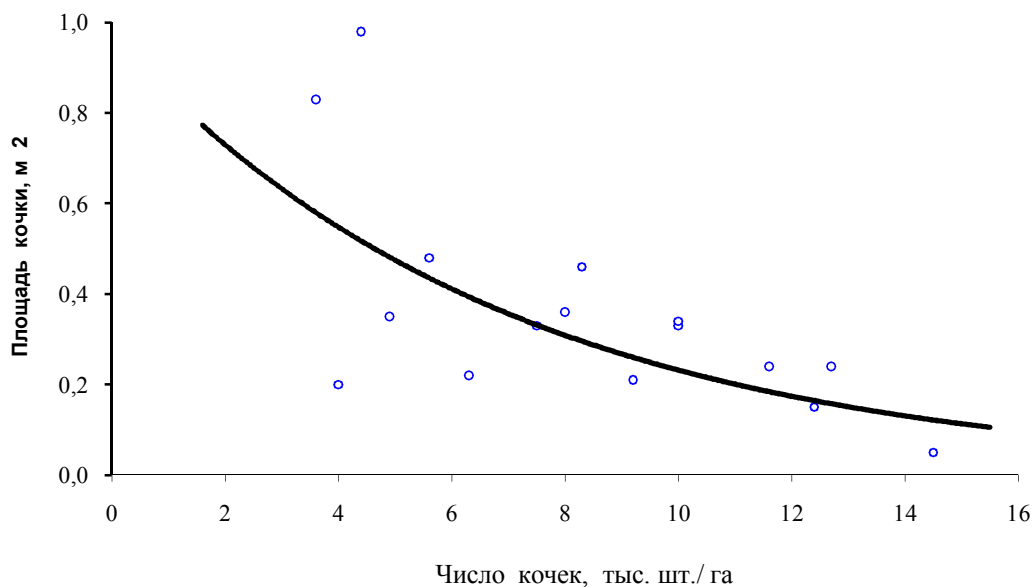


Рис. 1. Связь между числом кочек на верховых болотах и их средней площадью

Проведенные нами исследования полностью подтвердили эти положения, показав, что наиболее продуктивной частью поверхности верховых болот являются нановозвышения, параметры которых, как и всех других показателей состояния биогеоценозов, варьируют в очень больших пределах. Так, число кочек изменяется от 4 до 14,5 тыс. шт./га, заочкаренность, под которой понимается доля площади поверхности болота, занятого нановозвышениями, – от 7,7 до 43,2%, средний уровень поверхности мохового покрова – от 6,5 до 24,8 см, а максимальный перепад высот – от 19 до 46 см. Между параметрами нанорельефа достаточно четко прослеживается определенная связь. С уве-

личением числа кочек на участке уменьшается в среднем площадь одной кочки (рис. 1), но возрастает ее высота (рис. 2). Связь между количеством кочек и долей занятой ими поверхности болота выражена гораздо слабее и описывается параболой второй степени (рис. 3), которая показывает, что наибольшая закочкаренность болот наблюдается при густоте кочек 8–9 тыс. шт./га.

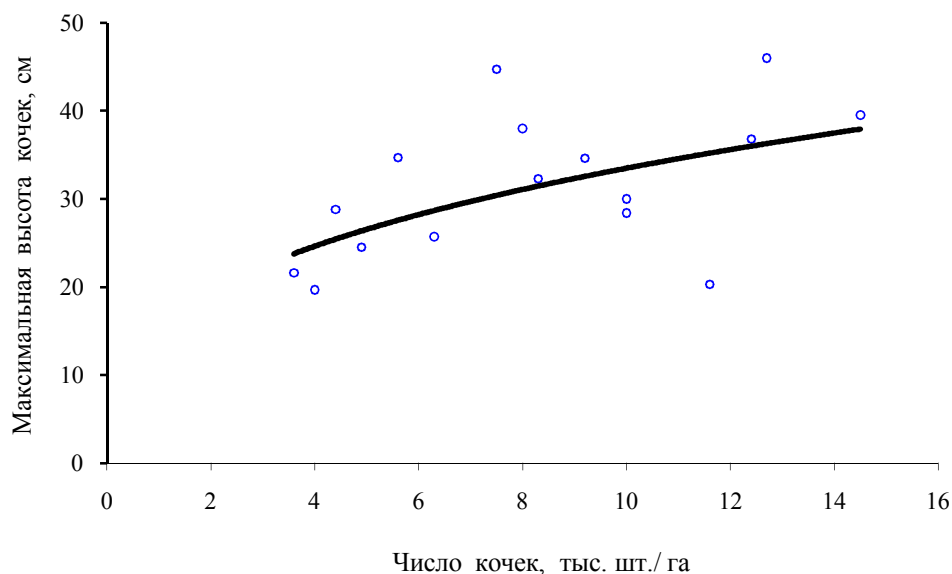


Рис. 2. Связь между числом кочек на верховых болотах и их максимальной высотой

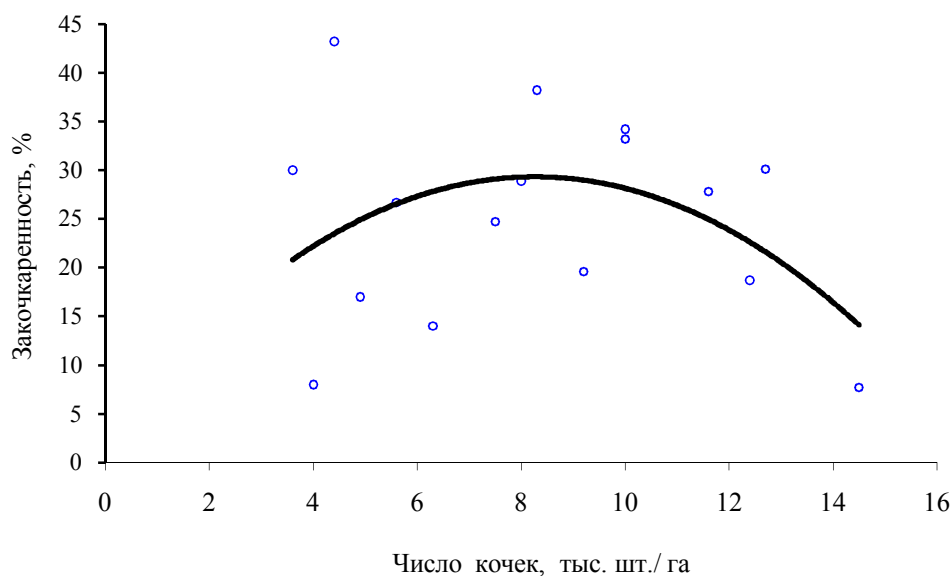


Рис. 3. Связь между числом кочек на верховых болотах и долей занятой ими площади поверхности

Изменение параметров нанорельефа, как нами было установлено, отражается на структуре фитоценозов, и наоборот, что указывает на автоматическую саморегуляцию процесса формирования поверхности болот. Так, на вырубках и гарях в первые 20–40 лет происходит усиление выраженности нанорельефа, который со временем постепенно сглаживается (минимальные значения параметров нанорельефа присущи зрелым стадиям развития болотных биогеоценозов).

Роль нанорельефа в болотных биогеоценозах двояка. В первые годы после различного рода нарушений состояния фитоценозов (пожаров, «вымочек», рубок леса) самосев древесных растений появляется в основном на кочках (здесь бывает сосредоточено до 80% его численности) и имеет лучшее развитие (диаметр 20–30-летних деревьев сосны на кочках в 1,1 раза, а текущий прирост в высоту в 1,7 раза выше, чем в западинах). В дальнейшем происходит перенасыщение кочек корнями растений, что приводит к торможению их роста и ускорению отпада. В условиях избытка влаги влияние кочек на процесс лесовосстановления и рост растений положительное, а в засушливые годы, наоборот, отрицательное.

Выводы.

1. Лесорастительные условия верховых болот Марийского Полесья, которые являются эффективными аккумуляторами атмосферной углекислоты, изменяются в очень больших пределах, что отражается на производительности и структуре произрастающих на них фитоценозов.

2. Большая изменчивость всех параметров состояния биогеоценозов верховых болот свидетельствует о необходимости их дробной классификации и выделении ряда подтипов, наиболее информативными признаками которых являются класс бонитета древостоя, его состав, уровень залегания грунтовых вод и их кислотность, а также содержание в них ионов кальция, нитратов, сульфатов и гидрокарбонатов.

3. При оценке лесорастительных условий болот по комплексу параметров необходимо опираться на принцип лимитирующего фактора, т.е. фактора, находящегося на нижнем уровне экологических потребностей растительности и принимать во внимание направление сукцессий, в процессе которых они развиваются в сторону увеличения обводненности биотопа и снижения продукционного процесса фитоценоза, что нежелательно ни с хозяйственной, ни с экологической точек зрения. Природные нарушения состояния болотных биогеоценозов, особенно пожары, периодически возникающие на территории Марийского Полесья и прерывающие естественный ход сукцессий, возвращают их на начальные стадии развития, поддерживая стабильность продукционного процесса.

Список литературы

1. Пьявченко, Н. И. Лесное болотоведение / Н. И. Пьявченко. – М.: АН СССР, 1963. – 192 с.
2. Боч, М. С. Содержание и скорость аккумуляции углерода в болотах бывшего Советского Союза / М. С. Боч, К. И. Кобак, Т. П. Кольчугина, Т. Винсон // Бюлл. МОИП. Отд. биол. – 1994. – Т. 99. – Вып. 4. – С. 59–69.
3. Вомперский, С. Э. Роль болот в круговороте углерода / С. Э. Вомперский // Чтения памяти академика В. Н. Сукачева. Вып. XI: Биогеоценозические особенности болот и их рациональное использование. – М.: Наука, 1994. – С. 5–37.
4. Инишева, Л. И. Элементы углеродного баланса олиготрофных болот / Л. И. Инишева, Е. А. Головацкая // Экология. – 2002. – № 4. – С. 261–266.
5. Демаков, Ю. П. Проблема оценки углерододепонирующей способности экосистем олиготрофных болот и пути ее решения / Ю. П. Демаков, М. Г. Сафин // Вестник МарГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2007. – № 1. – С. 55–66.
6. Кац, Н. Я. Болота Земного шара / Н. Я. Кац. – М.: Наука, 1971. – 295 с.
7. Боч, М. С. Экосистемы болот СССР / М. С. Боч, В. В. Мазинг. – Л.: Наука, 1979. – 188 с.
8. Гидрология суши. Термины и определения: ГОСТ 19179-73. – М.: Госстандарт СССР, 1973. – 34 с.
9. Кусакин, А. В. Болота Марий Эл: Охрана и рациональное использование / А. В. Кусакин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2000. – 200 с.
10. Научный отчет «Составление и издание кадастров торфяных и сапропелевых месторождений Республики Марий Эл». Кн. 2. «Торфяные месторождения Республики Марий Эл» / В. Ю. Обрывков, В. С. Шарапов, Г. А. Барбашова, Г. Д. Обрывкова [Рукопись]. – Н. Новгород, 2000. – 260 с.

11. Демаков, Ю. П. Структура органического вещества на олиготрофных болотах Марийского Полесья и эффективность процесса торфонакопления в них / Ю. П. Демаков, М. Г. Сафин // Проблемы использования и воспроизводства лесных ресурсов: Материалы научно-практической конференции. – Казань: Тат ЛОС, 2006. – С. 120–124.
12. Демаков, Ю. П. Надземная масса подпологовой растительности в климаксовых сосняках на олиготрофных болотах Марийского Полесья / Ю. П. Демаков, М. Г. Сафин // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 3. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2008. – С. 345–370.
13. Демаков, Ю. П. Возрастная структура и выживаемость древостоев на олиготрофных болотах Марийского Полесья / Ю. П. Демаков, М. Г. Сафин // Международное сотрудничество в лесном секторе: баланс образования, науки и производства. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2009. – С. 30–35.
14. Демаков, Ю. П. Особенности радиального прироста деревьев в климаксовых сосняках сфагновых Марийского Полесья / Ю. П. Демаков, М. Г. Сафин, Д. А. Тишин // Дендрэкология и лесоведение: Материалы Всероссийской конференции, посвященной 50-летию Сибирского отделения РАН. – Красноярск, 2007. – С. 40–42.
15. Демаков, Ю. П. Итоги мониторинга за динамикой уровня грунтовых вод и состоянием древостоя / Ю. П. Демаков // Проблемы государственного мониторинга природной среды на территории Республики Марий Эл. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – С. 93–97.
16. Демаков, Ю. П. Физико-химические свойства грунтовых вод олиготрофных болот Марийского Полесья / Ю. П. Демаков, М. Г. Сафин // Наука в условиях современности: Материалы конференции. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2009. – С. 9–11.
17. Лакин, Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1980. – 293 с.
18. Демаков, Ю. П. Диагностика устойчивости лесных экосистем (методологические и методические аспекты) / Ю. П. Демаков. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2000. – 415 с.
19. Смоляницкий, Л. Я. Исследование некоторых особенностей водного обмена сфагнума в связи с малой реакцией верховых болот на осушение / Л. Я. Смоляницкий // ИВУЗ: Лесной журнал, 1971. – № 4. – С. 129–131.
20. Смоляницкий, Л. Я. Некоторые закономерности формирования дернины сфагновых мхов / Л. Я. Смоляницкий // Ботанический журнал. – 1977. – Т. 61. – Вып. 9. – С. 1262–1272.
21. Грабовик, С. И. Флуктуации продуктивности сфагновых мхов / С. И. Грабовик // Лесные стационарные исследования: методы, результаты, перспективы. – Тула: ИЛАН, 2001. С. 343–345.
22. Лиштван, И. И. Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. – Минск: Наука и техника, 1975. – 320 с.
23. Ниценко, А. А. О понятиях верхового, низинного и переходного в современном болотоведении / А. А. Ниценко // Основные принципы изучения болотных биогеоценозов. – Л.: Наука, 1972. – С. 17–22.
24. Боч, М. С. О применении индикационных свойств растительности болот при установлении типа питания / М. С. Боч // Основные принципы изучения болотных биогеоценозов. – Л.: Наука, 1972. – С. 39–53.
25. Прокушкин, С. Г. Влияние экзаметаболитов корней сосны обыкновенной на подвижность ионов в почве / С. Г. Прокушкин, Л. Н. Каверзина // Лесоведение. – 1986. – № 6. – С. 62–68.
26. Бахнов, В. К. Биогеохимические аспекты болотообразовательного процесса / В. К. Бахнов. – Новосибирск: Наука, 1986. – 193 с.
27. Черняев, А. М. Гидрохимия болот (Урал и Приуралье) / А. М. Черняев, Л. Е. Черняева, М. Н. Еремеева. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 430 с.
28. Богдановская-Гиенэф, И. Д. Закономерности формирования сфагновых болот верхового типа (на примере Полистово-Ловатского массива) / И. Д. Богдановская-Гиенэф. – Л.: Наука, 1969. – 187 с.
29. Пьявченко, Н. И. О роли атмосферной пыли в питании болот / Н. И. Пьявченко, З. А. Сибирева // Доклады АН СССР. – 1959. – Т. 124. – № 2. – С. 414–417.
30. Дроздова, В. М. Химический состав атмосферных осадков на Европейской территории СССР / В. М. Дроздова, О. П. Петренчук, Е. С. Селезнева и др. – Л.: Гидрометеиздат, 1964. – 209 с.
31. Черняева, Л. Е. Химический состав атмосферных осадков (Урал и Приуралье) / Л. Е. Черняева, А. М. Черняев, А. К. Могиленских. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 179 с.
32. Корепанов, А. А. Водный режим лесов Прикамья / А. А. Корепанов. – Ижевск: Изд-во «Удмуртия», 1984. – 128 с.
33. Вомперский, С. Э. Микрорельеф поверхности заболоченных и болотных почв и его лесоводственное значение / С. Э. Вомперский // Влияние избыточного увлажнения почв на продуктивность лесов. – М.: Наука, 1966. – С. 96–111.
34. Глебов, Ф. З. Болота и заболоченные леса лесной зоны Енисейского левобережья / Ф. З. Глебов. – М.: Наука, 1969. – 132 с.

Статья поступила в редакцию 16.06.10.

Yu. P. Demakov, M. G. Safin, G. A. Bogdanov

FOREST VEGETATIVE CONDITIONS OF MARI FOREST AREA UPLAND BOGS

System estimation of forest vegetative conditions of Mari forest area upland bogs on physical and chemical indicators of a peat deposit and ground waters and on a nanorelief character are given. It is concluded that all parameters have a considerable variability and there is a necessity to differentiate the upland bogs into a number of subtypes.

Key words: *upland bogs, forest vegetative conditions, peat, ground waters, physical and chemical indicators, nanorelief.*

ДЕМАКОВ Юрий Петрович – доктор биологических наук, профессор кафедры управления природопользованием и лесозащиты МарГТУ. Область научных интересов – биогеоценология, дендрохронология. Автор 205 научных и учебно-методических работ, в том числе трех монографий и пяти учебных пособий.

E-mail: DemakovYP@marstu.net

САФИН Масхут Гумарович – директор Государственного природного заповедника «Большая Кокшага», аспирант МарГТУ. Область научных интересов – биогеоценология, болотоведение. Автор 15 публикаций.

E-mail: buh2@newmail.ru

БОГДАНОВ Геннадий Алексеевич – старший научный сотрудник Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Область научных интересов – флористика, бриология, лишенология, биогеоценология. Автор 23 научных работ.

E-mail: buh2@newmail.ru

УДК 630*231

А. А. Маленко, В. А. Усольцев

ВОЗРАСТНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ФИТОМАССЫ В РАЗНОГУСТОТНЫХ ГНЕЗДОВЫХ КУЛЬТУРАХ СОСНЫ АЛТАЙСКОГО КРАЯ И ОШИБКИ ЕЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Выполнены определения фракционной структуры фитомассы в гнездово-образных культурах сосны обыкновенной в возрасте 21 и 59 лет с начальной густотой посадки 4, 10, 20 и 40 тыс. экз./га. Приведены показатели фитомассы стволов, ветвей и хвои на уровне дерева и древостоя, которые проанализированы в связи с густотой культур. Показана точность обобщенных уравнений фитомассы.

Ключевые слова: лесные культуры, надземная фитомасса, абсолютно сухое состояние, фракционный состав, густота посадки, текущая густота.

Введение. В нашей предыдущей работе [1] дан анализ структуры фитомассы 70-летних разногустотных рядовых культур сосны обыкновенной, заложенных в 1935 году В. Е. Смирновым в Лебяжинском лесхозе (в 40 км от г. Рубцовска) с целью оптимизации густоты посадки.

Цель настоящей работы – проанализировать возрастные изменения структуры фитомассы и точность «обобщенных» двухфакторных моделей фитомассы в сравнении с «локальными» однофакторными моделями на другом объекте – разногустотном эксперименте с гнездовыми культурами сосны.

Объекты и методы исследований. Исследования проведены в разногустотных культурах сосны обыкновенной «местами» (гнездами, группами), заложенных в 1948 году Л. Н. Грибановым в Ключевском лесхозе Алтайского края на площади 7 га. Эксперимент необычен тем, что, во-первых, культуры были заложены местами в сопоставлении с посадкой их рядами и, во-вторых, количество площадок в каждом из четырех вариантов начальной густоты было достаточно большим, что дает возможность в будущем проследить их рост до возраста спелости (табл. 1). Вся лесокультурная площадь расположена на обширном пологом всхолмлении и представлена сплошной гарью после пожара 1939 года, заросшей характерными представителями степной флоры (тонко-

Т а б л и ц а 1

**Характеристика густотного эксперимента, заложенного в 1948 году
Л. Н. Грибановым в Ключевском лесхозе (по материалам К. Ж. Аскарова [3])**

№ варианта	Размер площадок	Число площадок		Число деревьев		
		на участке	на 1 га	на 1 м ² площадки	на 1 га суммарной поверхности площадок	на 1 га площади участка
I	1×2 м	100	200	100	40000	1600
II	1×2 м	90	200	50	20000	800
III	1×2 м	96	200	25	10000	400
IV	1×2 м	126	200	10	4000	160

ног, типчак, ковыль и др.). Рельеф местности слабоволнистый с отклонениями от среднего уровня поверхности почвы $\pm 2-3$ м. Тип леса – сухой бор пологих дюнных всхолмлений [2]. Подготовка почвы проведена полосной вспашкой на глубину 25–30 см, посадка выполнена двухлетними сеянцами, выращенными в питомнике Ключевского лесхоза из местных семян [3].

В возрасте 21 года эти культуры были протаксированы К. Ж. Аскаровым [3] и в возрасте 59 лет их повторную инструментальную таксацию выполнил А. А. Маленко. Результаты представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

**Таксационная характеристика культур сосны в возрасте 21 и 59 лет
по вариантам посадки в Ключевском лесхозе**

Таксационные показатели	Посадка местами по вариантам				Посадка рядами
	I	II	III	IV	V
Начальная густота, экз/га	40000	20000	10000	4000	4000
Данные перечета в возрасте 21 года [3]					
Густота, экз/га	8440	6560	4080	1188	1464
Сохранность, %	21,2	32,8	40,8	29,7	36,6
Средняя высота, м	5,1	5,1	5,9	6,4	5,5
Средний диаметр, см	5,4	6,0	7,4	10,9	12,3
Класс бонитета	III	III	III	III	III
Площадь сечений, м ² /га	19,1	18,4	17,5	11,1	17,3
Полнота	0,93	0,90	0,81	0,50	0,80
Запас, м ³ /га	69,4	69,3	65,3	40,1	61,3
Данные перечета в возрасте 59 лет					
Густота, экз/га	4270	3733	2883	1445	1370
Сохранность, %	10,7	18,7	28,8	36,1	34,2
Средняя высота, м	11,4	12,4	13,4	17,0	19,7
Средний диаметр, см	9,1	9,8	11,2	16,7	22,0
Класс бонитета	IV	IV	III	II	I
Площадь сечений, м ² /га	27,85	27,94	28,40	31,50	54,04
Полнота	0,96	0,94	0,91	0,89	1,41
Запас, м ³ /га	194	199	210	256	469

Обращает на себя внимание парадоксальный факт: если в вариантах I–III за период между двумя учетами число деревьев уменьшилось в результате естественного изреживания, то в IV варианте посадки возросло с 1188 до 1445 экз/га (отмечены в табл. 2 жирным шрифтом). Этот феномен требует комментария. К. Ж. Аскаров [3] характеризует вариант посадки IV (с наименьшей густотой) как наименее устойчивый к экстремальным условиям сухой степи и находящийся на грани гибели с большим количеством суховершинных деревьев. При перечете такие деревья с одной-двумя живыми нижними мутовками были протаксированы как неблагонадежные и отмирающие. Но к возрасту 59 лет произошло «воскрешение из полумертвых» какой-то части таких деревьев из нижних боковых ветвей. Подобное явление неоднократно наблюдалось ранее в Бузулукском бору Н. П. Чардымовым [4], В. Г. Нестеровым [5] и Е. Д. Годневым [6], а также в Аман-Карагайском бору в Кустанайской области (Казахстан) [7].

Фитомасса культур определена по модельным деревьям, взятым в диапазоне ступеней толщины, с использованием методики А. А. Молчанова и В. В. Смирнова [8]. От каждой фракции взяты навески для определения содержания сухого вещества, по значениям которого фитомасса в свежем состоянии, полученная взвешиванием, пересчитана на абсолютно сухое состояние (табл. 3 и 4). Обработка материала выполнена по

стандартным программам статистического и регрессионного анализа. Имели место некоторые методические расхождения между учетами фитомассы в возрасте 21 и 59 лет: в первом случае масса ствола определена вместе с корой, без выделения последней в качестве отдельной фракции, но зато учтена масса корней, чего не сделано во втором случае.

Т а б л и ц а 3

**Фитомасса модельных деревьев в абсолютно сухом состоянии
в возрасте культур 21 года [3]**

Ступени толщины	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, кг					
	Стволы в коре	Ветви	Хвоя	Надземная	Корни	Итого
Посадка местами, начальная густота 40 тыс. экз/га (вариант I)						
2	0,235	0,047	0,052	0,334	0,046	0,38
4	0,861	0,251	0,217	1,33	0,168	1,50
6	1,83	0,425	0,374	2,63	0,438	3,07
8	3,49	1,19	0,897	5,58	0,823	6,40
10	6,85	2,20	1,72	10,8	1,91	12,7
12	12,4	3,61	2,79	18,8	2,42	21,2
14	15,5	4,90	3,74	24,1	3,32	27,5
16	19,6	4,45	3,58	27,6	3,64	31,3
Посадка местами, начальная густота 20 тыс. экз/га (вариант II)						
2	0,196	0,056	0,071	0,323	0,048	0,371
4	0,716	0,191	0,188	1,095	0,165	1,26
6	2,65	0,801	0,757	4,21	0,870	5,08
8	5,05	0,883	0,924	6,86	1,05	7,91
10	6,14	2,03	1,33	9,50	1,56	11,1
12	10,9	2,34	1,74	15,0	2,17	17,2
14	14,1	3,64	2,50	20,2	2,75	23,0
16	17,7	5,26	3,64	26,6	3,83	30,4
Посадка местами, начальная густота 10 тыс. экз/га (вариант III)						
2	0,256	0,072	0,075	0,403	0,050	0,453
4	0,727	0,172	0,196	1,095	0,158	1,25
6	1,75	0,484	0,436	2,67	0,349	3,02
8	4,50	1,08	0,804	6,38	0,974	7,36
10	5,91	2,07	1,56	9,54	1,55	11,1
12	12,2	2,44	2,29	16,9	2,20	19,1
14	14,9	4,24	3,08	22,2	3,46	25,7
16	19,1	5,50	4,19	28,8	3,96	32,7
Посадка местами, начальная густота 4 тыс. экз/га (вариант IV)						
2	0,478	0,191	0,144	0,813	0,074	0,887
4	1,95	0,365	0,287	2,60	0,405	3,01
6	2,01	0,618	0,664	3,29	0,754	4,05
8	4,01	0,905	0,789	5,70	1,05	6,75
10	5,77	2,04	1,68	9,49	1,75	11,2
12	12,3	3,49	2,53	18,3	2,68	21,0
14	14,2	4,97	3,98	23,2	4,20	27,4
16	16,5	6,33	3,59	26,4	4,93	31,3

Результаты и их обсуждение. Полученные фактические данные фитомассы модельных деревьев используются для определения ее запасов на 1 га разнотравных насаждений. Расчет показателей фитомассы на 1 га древостоев пробных площадей выполнен регрессионным методом с использованием аллометрического уравнения:

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln D, \quad (1)$$

где P_i – фитомасса i -й фракции (соответственно P_F , P_{BR} , P_R , P_{ST} , P_B , P_{STB} и P_{TOT} для хвои, ветвей, корней, древесины ствола, коры ствола, ствола в коре и общей надземной) в абсолютно сухом состоянии, кг; D – диаметр на высоте груди, см. Полученные уравнения (табл. 5 и 6) объясняют от 96 до 99% изменчивости той или иной фракции фитомассы.

Т а б л и ц а 4

Фитомасса модельных деревьев в абсолютно сухом состоянии в возрасте культур 59 лет

Диаметр на высоте груди, см	Высота дерева, м	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, кг				
		Древесина ствола	Кора ствола	Ветви	Хвоя	Итого надземная
Посадка местами, начальная густота 40 тыс. экз/га (вариант I)						
3	5,2	0,80	0,16	0,135	0,148	1,24
6	9,3	3,75	0,73	0,404	0,363	5,25
10	12,5	21,0	2,07	1,53	1,705	26,3
14	15,1	45,4	2,77	3,19	3,27	54,6
20	17,6	92,15	7,52	7,82	5,55	113,0
24	18,2	145,5	12,2	9,81	9,01	176,5
27	18,5	200,7	17,8	14,1	12,8	245,4
Посадка местами, начальная густота 10 тыс. экз/га (вариант III)						
3	5,3	0,72	0,15	0,164	0,177	1,21
6	9,2	4,56	0,99	0,394	0,559	6,50
10	12,7	17,7	2,30	2,48	2,12	24,6
14	15,4	45,1	3,71	3,48	3,38	55,7
18	17,3	87,6	6,87	6,76	5,88	107,1
22	18,9	113,9	8,38	12,6	8,27	143,1
27	19,5	204,8	16,3	17,8	13,1	252,0
Посадка местами, начальная густота 4 тыс. экз/га (вариант IV)						
4	6,8	1,80	0,42	0,287	0,401	2,91
8	10,8	15,0	1,68	1,68	1,21	19,6
12	14,4	33,5	3,31	3,19	2,67	42,7
16	16,6	54,2	4,6	6,24	5,77	70,81
20	19,0	105,1	8,67	12,7	9,71	136,2
24	19,4	164,7	12,7	15,8	11,7	204,9
28	20,2	237,1	18,7	23,6	16,5	295,9
Рядовая посадка, начальная густота 4 тыс. экз/га (вариант V)						
9	12,8	13,4	1,89	1,98	2,65	19,9
14	17,0	40,7	4,26	5,24	4,01	54,2
18	18,6	82,0	6,92	11,2	7,84	108,0
22	20,5	143,0	13,4	19,4	12,2	188,0
25	21,0	200,3	15,2	28,6	15,0	259,1
29	21,3	259,1	16,3	40,2	20,7	336,3
36	21,6	390,1	26,8	58,0	28,4	503,3

Нетрудно заметить, что между данными табл. 3 и 4, а затем 5 и 6 имеется некоторое несоответствие, вызванное тем, что работы на пробных площадях в первом и втором случаях проводились разными исследователями. Поэтому прежде, чем анализировать возрастное изменение фитомассы культур на единице площади, приведем их результаты в сопоставимое состояние. К. Ж. Аскарров [3] в таблице приводит фитомассу стволов без деления ее на древесину и кору, но в отдельной таблице дает соотношения этих двух фракций. По этим соотношениям мы модифицировали данные табл. 3.

Т а б л и ц а 5

Характеристика уравнений (1) и (2) для 21-летних культур

Текущая густота древостоя, экз./га	Константы и R ²	Обозначения фракций фитомассы				
		P _F	P _{BR}	P _{STB}	P _R	P _{TOT}
Уравнение (1)						
Посадка местами, начальная густота 40 тыс. экз/га (вариант I)						
8440	a ₀	-4,551	-4,690	-3,138	-4,718	-2,629
	a ₁	2,167	2,326	2,199	2,222	2,217
	R ²	0,987	0,986	0,991	0,992	0,992
Посадка местами, начальная густота 20 тыс. экз/га (вариант II)						
6560	a ₀	-3,993	-4,449	-3,185	-4,436	-2,503
	a ₁	1,877	2,181	2,219	2,114	2,152
	R ²	0,982	0,986	0,991	0,976	0,991
Посадка местами, начальная густота 10 тыс. экз/га (вариант III)						
4080	a ₀	-4,219	-4,442	-3,107	-4,726	-2,530
	a ₁	2,001	2,184	2,178	2,213	2,159
	R ²	0,987	0,982	0,986	0,989	0,988
Посадка местами, начальная густота 4 тыс. экз/га (вариант IV)						
1188	a ₀	-3,368	-3,288	-1,977	-3,865	-1,444
	a ₁	1,685	1,763	1,706	1,966	1,737
	R ²	0,964	0,940	0,964	0,991	0,976
Обобщенное уравнение (2)						
-	a ₀	0,265	1,621	2,423	-1,116	2,800
	a ₁	0,293	-0,145	-0,165	1,173	0,037
	a ₂	-0,517	-0,703	-0,635	-0,340	-0,611
	a ₃	0,197	0,272	0,270	0,115	0,244
	R ²	0,979	0,975	0,984	0,984	0,986

Т а б л и ц а 6

Характеристика уравнений (1) и (2) для 59-летних культур

Густота древостоя, экз./га	Константы и R^2	Обозначения фракций фитомассы				
		P_F	P_{BR}	P_{ST}	P_B	P_{TOT}
Уравнение (1)						
Посадка местами, начальная густота 40 тыс. экз/га (вариант I)						
4270	a_0	-4,357	-4,548	-3,021	-4,095	-2,488
	a_1	2,0667	2,167	2,538	2,062	2,426
	R^2	0,987	0,994	0,995	0,990	0,996
Посадка местами, начальная густота 10 тыс. экз/га (вариант III)						
2883	a_0	-3,958	-4,478	-3,099	-3,888	-2,454
	a_1	1,977	2,226	2,577	2,005	2,433
	R^2	0,996	0,981	0,998	0,988	0,999
Посадка местами, начальная густота 4 тыс. экз/га (вариант IV)						
1445	a_0	-3,758	-4,297	-2,624	-3,523	-2,051
	a_1	1,967	2,238	2,435	1,916	2,330
	R^2	0,993	0,995	0,993	0,999	0,997

О к о н ч а н и е т а б л. 6

Густота древостоя, экз./га	Константы и R ²	Обозначения фракций фитомассы				
		P _F	P _{BR}	P _{ST}	P _B	P _{TOT}
Уравнение (1)						
Рядовая посадка, начальная густота 4 тыс. экз/га (вариант V)						
1370	a ₀	-3,185	-4,935	-2,830	-3,613	-2,267
	a ₁	1,825	2,543	2,492	1,940	2,400
	R ²	0,980	0,995	0,995	0,984	0,991
Обобщенное уравнение (2)						
-	a ₀	0,278	-2,565	0,0564	0,309	0,882
	a ₁	1,281	2,670	1,742	0,940	1,695
	a ₂	-0,546	-0,238	-0,379	-0,527	-0,409
	a ₃	0,091	-0,059	0,0988	0,134	0,089
	R ²	0,992	0,990	0,995	0,992	0,997

Значения фитомассы на 1 га, рассчитанные с использованием уравнений (1) и данных переучетов деревьев по ступеням толщины, приведены в табл. 7.

Т а б л и ц а 7

Результаты расчета фитомассы на 1 га древостоя по уравнениям (1) в возрасте 21 и 59 лет

№ варианта	Густота древостоя, экз./га	Фитомасса, т/га					
		P_F	P_{BR}	P_{ST}	P_B	P_{TOT}^*	P_{TOT}^{**}
Возраст 21 год							
1	8440	3,65	4,46	16,0	3,47	27,6	27,7
2	6560	3,33	4,07	15,6	3,55	26,6	26,7
3	4080	3,29	3,98	14,9	3,20	25,4	25,4
4	1188	2,23	2,92	9,42	2,72	17,3	17,3
Возраст 59 лет							
1	4270	5,40	5,79	71,3	6,93	89,4	89,9
2	3733	5,90	6,51	72,4	7,18	92,0	92,7
3	2883	6,57	7,66	80,1	7,60	101,9	102,4
4	1445	8,48	11,03	105,7	9,23	134,4	136,9

Примечание: Здесь и далее P_{TOT}^* и P_{TOT}^{**} – значения надземной фитомассы, полученные соответственно суммированием масс фракций и расчетом уравнений (1) и (2).

Кроме закономерности возрастного изменения фитомассы в исследованном возрастном диапазоне, представляет интерес процесс перегруппировки густотных вариантов по их биопродуктивности. В нашей работе [7] на основе анализа нескольких густотных экспериментов, заложенных в культурах сосны обыкновенной на территории бывшего СССР, было установлено, что в течение первых 15–29 лет после посадки, т.е. до смыкания крон и корней и соответственно до вступления древостоев в фазу интенсивных конкурентных отношений, стволовый запас культур одного и того же возраста (в статике) пропорционален густоте посадки. С возраста 17–39 лет начинается перегруппировка густотных вариантов по продуктивности.

Путем нанесения данных табл. 7 на графики мы получили возможность наглядно представить особенности возрастного изменения фитомассы в разных густотных вариантах и конкретизировать возраст культур, при котором начинается конкуренция за ресурсы среды (см. рис. на с. 45). Мы видим, что в возрасте 22–30 лет прямо пропорциональная зависимость биопродуктивности от начальной густоты посадки меняется на противоположную, причем равенство разнототных вариантов по стволовой массе наступает раньше (около 22 лет), а по массе крон – позднее (около 30 лет). Это несколько неожиданно, поскольку известно, что на разреживание древостоя при рубках ухода масса крон реагирует в первую очередь вследствие их экспансии в освободившееся пространство. В данном случае динамика крон как бы «отстает» от стволовой массы.

Наряду с однофакторной зависимостью (1) для составления таблиц фитомассы для разнототных культур необходимо оценить «продвинутые» модели с числом независимых переменных, соответствующим числу входов в таблицы. В предыдущей статье [1] было показано, что наиболее соответствующей названной цели является следующая структура уравнения:

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln N + a_3 \ln D \ln N, \quad (2)$$

где N – текущая густота древостоев культур, экз/га.

Характеристика уравнения (2) приведена в табл. 5 и 6. Результаты расчета фитомассы на 1 га по уравнению (2) сведены в табл. 8.

Для суждения о возможности или невозможности использования модели фитомассы деревьев (2) в качестве «всеобщей» наличия высокого коэффициента детерминации недостаточно [1], и модель должна быть верифицирована на уровне не только деревьев, но и конкретных древостоев.

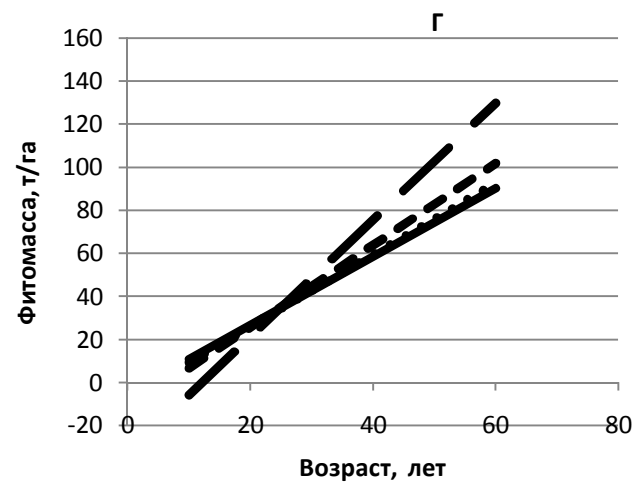
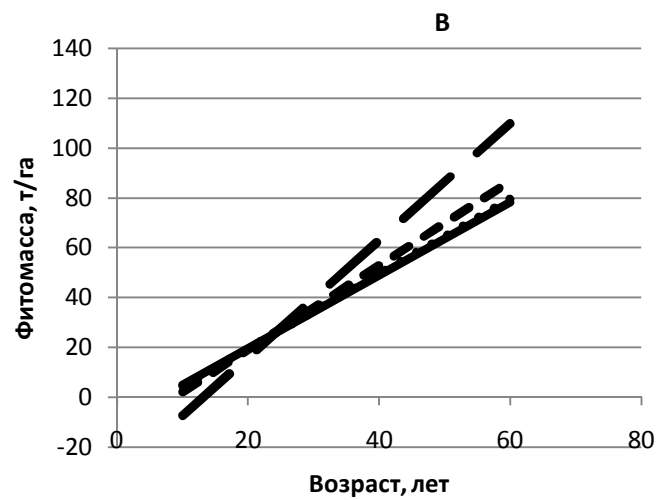
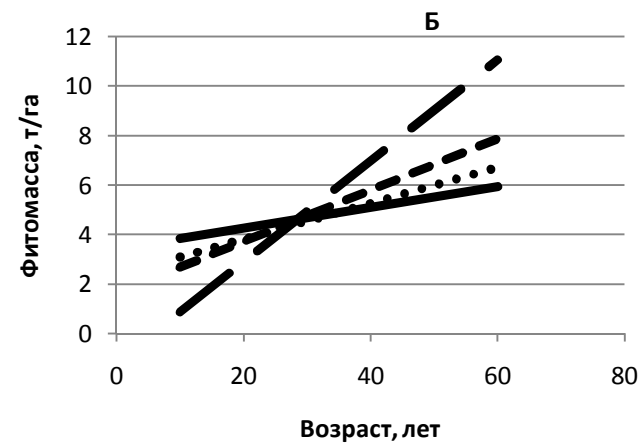
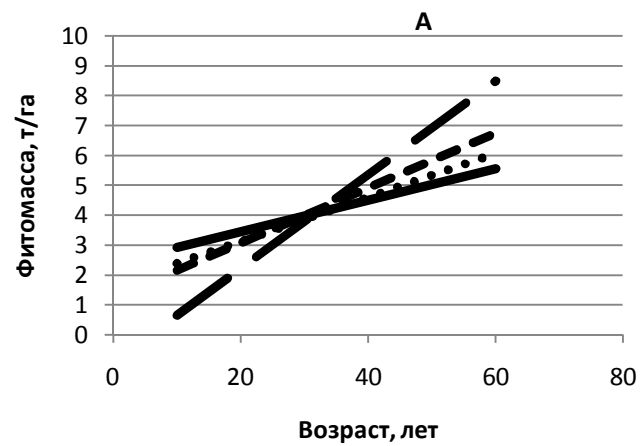
Т а б л и ц а 8

Результаты расчета фитомассы на 1 га древостоя по уравнению (2) в возрасте 21 и 59 лет

№ варианта	Густота древостоя, экз./га	Фитомасса, т/га					
		P _F	P _{BR}	P _{ST}	P _B	P _{ТОТ} [*]	P _{ТОТ} ^{**}
Возраст 21 год							
1	8440	3,47	4,15	15,7	3,36	26,7	26,8
2	6560	3,44	4,20	15,6	3,42	26,7	26,8
3	4080	3,40	4,24	15,3	3,53	26,4	26,5
4	1188	2,19	2,85	9,42	2,65	17,1	17,1
Возраст 59 лет							
1	4270	5,50	5,95	70,8	6,90	89,1	89,4
2	3733	5,87	6,46	72,5	7,19	92,0	92,8
3	2883	6,41	7,32	80,5	7,66	101,8	102,9
4	1445	8,52	11,2	105,9	9,20	134,9	137,3

Примечание: Здесь и далее P_{TOT}^* и P_{TOT}^{**} – значения надземной фитомассы, полученные соответственно суммированием масс фракций и расчетом уравнений (1) и (2).

Расчет ошибок определения запасов фитомассы на 1 га (табл. 9) показал, что систематические ошибки значений фитомассы на 1 га, рассчитанные по обобщенному уравнению (2) относительно таковых, рассчитанных по уравнению (1), «исчезающе малы», а величина случайной ошибки существенно ниже по сравнению с ошибками экспериментального определения фитомассы на пробных площадях.



Зависимость фитомассы хвои (А); ветвей (Б); стволовой древесины (В); общей надземной (Г)
от возраста, по вариантам начальной густоты (обозначены цифрами): 1, 2, 3 и 4 – соответственно 40, 20, 10 и 4 тыс. экз./га

Т а б л и ц а 9

Ошибки значений фитомассы на 1 га, рассчитанных по уравнению (2) относительно таковых, рассчитанных по уравнению (1)

Ошибка определения, %	P_F	P_{BR}	P_{ST}	P_B	P_{TOT}
Возраст 21 год					
Систематическая	-0,01	0,17	-0,01	0,17	-0,004
Случайная	4,03	5,99	1,86	6,70	3,15
Возраст 59 лет					
Систематическая	-0,14	-0,95	0,04	0,04	0,002
Случайная	1,78	3,16	0,50	0,53	0,25

Закключение. При посадке сосны в диапазоне начальных густот от 4 до 40 тыс. экз./га наиболее густые посадки имеют наибольшую фитомассу на единице площади лишь до возраста 22–30 лет, после чего наступает перегруппировка древостоев по продуктивности в данном диапазоне начальных густот и зависимость биопроductивности от начальной густоты меняется на противоположную. Обобщенные уравнения (2) могут быть использованы для составления таблиц фитомассы гнездовых культур в Алтайском крае для деревьев – по двум входам (диаметр ствола и густота древостоя), а для древостоев – по одному (текущая густота, изменяющаяся с возрастом).

Список литературы

1. Маленко, А. А. Разногустотные культуры сосны в ленточных борах Алтайского края: фитомасса и ошибки ее определения / А. А. Маленко, В. А. Усольцев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 8 (58). – С. 48–54.
2. Грибанов, Л. Н. Степные боры Алтайского края и Казахстана / Л. Н. Грибанов. – М. –Л.: Гослесбумиздат, 1960. – 156 с.
3. Аскаров, К. Ж. Рост и продуктивность культур сосны разной густоты местами в ленточных борах Прииртышья: Автореф. дис....канд. с.-х. наук / К. Ж. Аскаров. – Алма-Ата: КазСХИ, 1974. – 23 с.
4. Чардымов, Н. П. Чистые сосновые культуры на дюнных песках Бузулукского бора / Н. П. Чардымов // Бузулукский бор. Т. 1.: Общий очерк и лесные культуры – М. –Л.: Гослесбумиздат, 1949. – С. 143–212.
5. Нестеров, В. Г. Основные черты процесса усыхания сосны // Бузулукский бор. Т. 1: Общий очерк и лесные культуры / В. Г. Нестеров. – М. – Л.: Гослесбумиздат, 1949. – С. 65–78.
6. Годнев, Е. Д. Густота культур сосны как фактор их устойчивости / Е. Д. Годнев // Лесное хозяйство. – 1957. – № 4. – С. 30–35.
7. Усольцев, В. А. Культуры сосны разной густоты посадки и проблема ее оптимизации / В. А. Усольцев, А. А. Маленко // Ботанические исследования в Сибири. – 2008. – Вып. 16. – С. 136–164.
8. Молчанов, А. А. Методика изучения прироста древесных растений / А. А. Молчанов, В. В. Смирнов. – М.: Наука, 1967. – 100 с.

Статья поступила в редакцию 19.06.10.

A. A. Malenko, V. A. Usoltsev

BIOMASS AGE CHANGE IN PINE PLANTATIONS OF DIFFERENT DENSITY NEST-SHAPES PINES IN ALTAI REGION AND SOME ERRORS IN ITS DEFINITION

Tree biomass fraction structure detection in the nest-shaped cultures of the scotch-pine in the age of 21 and 59 years with initial planting density 4, 10, 20 and 40 thousands seedlings per ha was estimated. Stems, branches and fir-needles biomass indices of trees and stands are analyzed in connection with tree density. The tree biomass unified equations accuracy is shown.

Key words: forest plantation, tree biomass, bon-dry condition, fractional structure, planting density, current density.

МАЛЕНКО Александр Анатольевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесного хозяйства Алтайского государственного аграрного университета. Область научных интересов – рост, продуктивность искусственных насаждений. Автор 50 публикаций.

E-mail: malenko51@mail.ru

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

E-mail: Usoltsev50@mail.ru

УДК 630*52.5

А. А. Вайс

ОБЪЕМЫ ПНЕЙ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

Получены модели для вычисления объемов пней в двух вариантах. Составлены нормативы объемов пней для лесных массивов Красноярского края и Иркутской области.

Ключевые слова: объем, пень, модель, *pinus sylvestris* L., норматив.

Введение. В настоящее время резко возрос интерес к таксации насаждений и их составляющих. Это обусловлено необходимостью определения углеродного пула и общего энергетического баланса. Пни – это часть стволов, которые остаются в биоценозе после рубки деревьев и участвуют во всех биологических процессах.

Пневые горизонты играют важную роль в палеоботанических исследованиях по восстановлению лесных ассоциаций [1]. Пни вместе с ветровально-почвенными комплексами (ВПК) формируют мозаичную структуру растительных сообществ [2].

Е. А. Капица [3] указывает, что крупные древесные остатки (в том числе и пни) являются важнейшими компонентами биологического разнообразия и необходимо знать количество, а главное, качественную характеристику (степень разложения, распределение по породам и диаметрам и т.д.) остатков.

Размеры пней необходимо знать для механизации работ на вырубках [4].

Высота и диаметр оставляемых пней влияют на объем крупного древесного детрита. Существующие нормативы определения диаметров стволов по оставшимся пням используют разные методические подходы: в одних таблицах диаметры измеряют у шейки корня [5], в других – на высоте 20–25 см от основания почвы [6], в третьих – высота пня принималась равной одной трети величины диаметра на высоте груди [7]. Указания по освидетельствованию мест рубок предусматривают штрафные санкции за завышение оставляемых пней. Высота пней измеряется от поверхности почвы, а при обнаружении корней – от корневой шейки. Нарушением считается оставление пней высотой более одной трети диаметра среза, а при рубке деревьев тоньше 30 см – высотой более 10 см [8]. Ф. В. Кишенков, А. А. Соломников, А. А. Касацкий [9] установили, что у деревьев ели Брянской области высота пня практически не влияла на восстановленный запас – расхождение составило не более 1,5 %. Однако авторы отмечают, что применение нормативных таблиц приводит к завышению запаса более чем на 25 %.

Основной **целью** данной работы являлась разработка нормативов по определению объемов пней сосны обыкновенной в условиях Средней Сибири. Для решения поставленной цели были сформулированы следующие **задачи**:

- определить формулу для вычисления объема пней;
- выполнить расчет статистик объемообразующих признаков;
- предложить различные варианты составления объемных таблиц;

- дать оценку нелинейным уравнениям путем их линеаризации;
- составить нормативы по определению объемов пней.

Методика исследований. В основу исследований были положены данные обмеров учетных моделей сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), собранных по ступеням толщины из трех лесорастительных районов [10]: Зиминского, Эхирит-Булагатского Иркутской области и Енисейского Красноярского края. Общее количество моделей – 1075 штук.

Объем пня предлагается определять на основе стереометрической формулы усеченного ствола (формула Смалиана) [11,12]:

$$V_n = \frac{g_0 + g_n}{2} \cdot H_n,$$

где V_n – объем пня, м³;

g_0 – площадь поперечного сечения основания пня, м²;

g_n – площадь поперечного сечения на высоте пня, м²;

H_n – высота пня, м.

Результаты и их обсуждение. Исходными данными для вычисления объема пня являлись: d_0 – диаметр основания пня у шейки корня в коре, см; d_n – диаметр пня в коре, см; H_n – высота пня, м; $g_{n1/2}$ – площадь поперечного сечения на середине пня, м²; V_n – объем пня, м³.

Основные статистики объемообразующих признаков приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Статистические показатели объемов пней

Статистики	Признаки				
	d_0 , см	d_n , см	H_n , м	$g_{n1/2}$, м ²	H_n , м ³
Зиминский муниципальный район					
X_{cp}	38,5±2,31	32,8±1,94	0,22±0,008	0,0919±0,01033	0,1404±0,0155
V, %	37,9	37,4	23,0	70,2	67,9
P, %	6,0	5,9	3,7	11,2	11,0
Эхирит-Булагатский муниципальный район					
X_{cp}	50,7±2,08	46,0±1,94	0,09±0,009	0,1850±0,0155	0,2304±0,0188
V, %	33,1	34,1	69,5	67,4	65,7
P, %	4,1	4,2	9,6	8,4	8,1
Енисейский муниципальный район					
X_{cp}	44,4±1,08	37,6±1,03	0,29±0,008	0,2124±0,0046	0,0096±0,0003
V, %	31,2	30,9	34,3	61,9	81,4
P, %	2,4	2,4	2,7	2,2	2,9

Статистические показатели (табл. 1) указывают на высокое варьирование исходных данных. Точность опыта для площади сечения и объема пней не превышает 11 %, что можно считать приемлемым для дальнейшего анализа.

С помощью диаграмм были апробированы возможные варианты составления нормативов. Упрощенный вариант предусматривал решение функции $V_n = f(d_n)$ и соответствие высоты пня инструктивным требованиям $H_n = d_{1,3} / 3$. Во втором варианте использовалась зависимость $g_{n1/2} = f(d_n)$ с дальнейшим переходом к объему пня

$V_n = g_{n1/2 \text{ вып.}} \cdot H_n$. На рисунке (с. 51) представлены графики зависимостей для двух вариантов.

Коэффициент детерминации указывает на достаточно высокую адекватность моделей, что позволяет применять их для случаев, когда не требуется высокая точность вычисления объемов пней.

Уравнения вида $g_{n1/2} = f(d_n)$ характеризуются высокой адекватностью (см. рисунок с. 51) и позволяют разработать норматив с двумя входами $V_n = f(d_n, H_n)$. Упрощенный способ может применяться только в ограниченных случаях. Поскольку полученные зависимости имеют нелинейную форму, для оценки уравнений необходимо использовать метод линеаризации моделей. Степенное уравнение преобразовывается к линейному виду путем логарифмирования: $y = a \cdot x^b \rightarrow Lg(y) = Lg(a) + b \cdot Lg(x)$

Иркутская область – $Lg(g_{n1/2}) = -4,1007 + 1,9976 \cdot Lg(d_n)$, $d_n = 12 - 92 \text{ см.}$

Красноярский край – $Lg(g_{n1/2}) = -3,7445 + 1,9417 \cdot Lg(d_n)$, $d_n = 12 - 92 \text{ см.}$

Степенные и полиномиальные модели, отражающие зависимость $V_n = f(d_n)$, представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Параметры модели $V_n = f(d_n)$

Модель	Коэффициент			R ²
	a	b	c	
Зиминский муниципальный район				
V _п = a*d _п ^b	0,01	1,3088	-	0,531
Эхирит-Булагатский муниципальный район				
V _п = a*d _п ^b	0,0001	1,9312	-	0,983
Енисейский муниципальный район				
V _п = a+b*d _п +c*d _п ²	0.0025	-0.0002	0.00001	0.739

Оценка моделей представлена в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

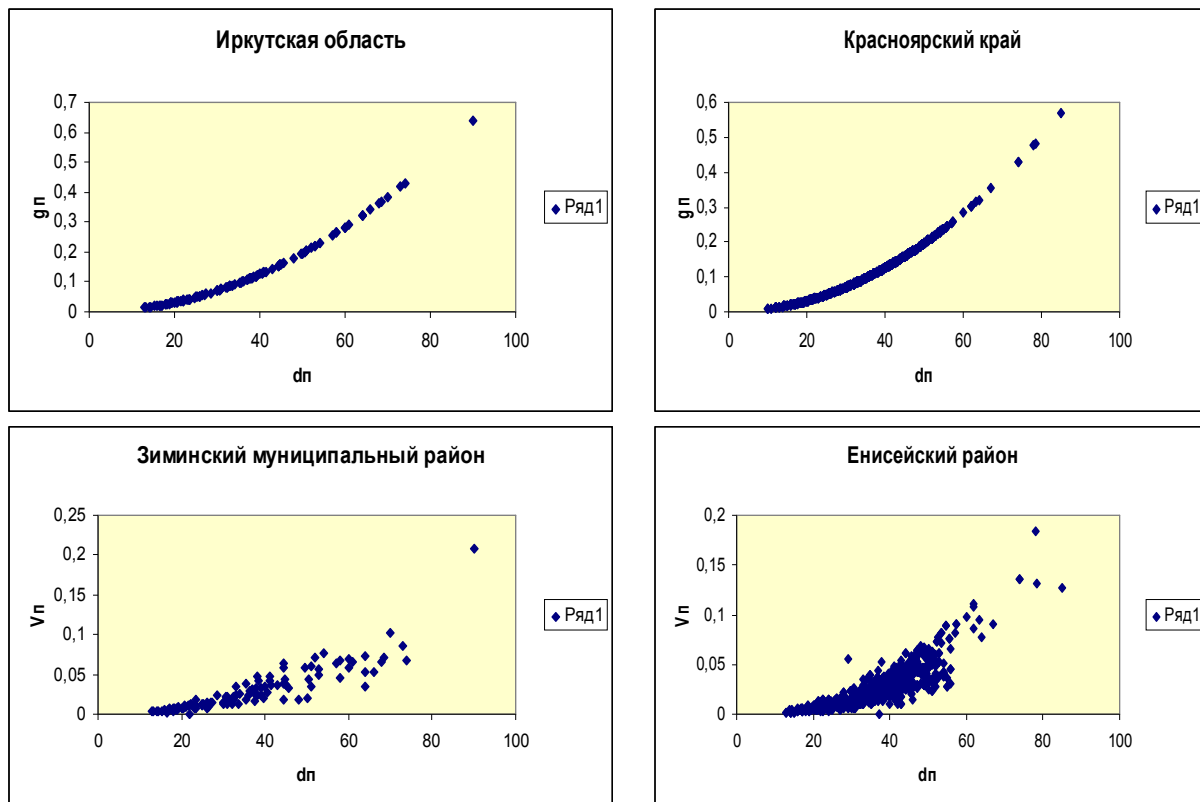
Оценка линейных моделей вида $Lg(g_{n1/2}) = a + b \cdot Lg(d_n)$

Район исследований	Коэффициент		Коэффициент корреляции	Основная ошибка	Уровень значимости		Достоверность
	a	b			p_a	p_b	
Иркутская область	-4,1007	1,9976	0,999	0,00027	0,3E-8	0,4E-10	129
Красноярский край	-3,7445	1,9417	0,974	0,0678	0,12E-4	0,35E-5	74

Примечание: Коэффициенты a и b значимы при $p < 0,05$. Уравнения достоверны, так как $F_p > F_{\text{таб}}$. Все оценки получены при уровне доверительной вероятности $P = 95,4 \%$.

Расчетные оценки (табл. 3) позволяют сделать вывод о возможности использования моделей $g_{n1/2} = f(d_n)$ для составления таблиц по определению объемов пней.

В результате вычислений были получены окончательные нормативы определения объемов пней для сосновых массивов Иркутской области и Красноярского края (табл. 4, 5).



Зависимости объемобразующих признаков $V_n = f(d_n)$ и $g_{n1/2} = f(d_n)$

Т а б л и ц а 4

Объемы пней сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в Иркутской области

Диаметр пня в коре, см	Объем пня, м ³					
	высота пня, м					
	0,05	0,15	0,25	0,35	0,45	0,70
12	0,00057	0,001718	0,002863	0,004008	0,005153	0,008016
20	0,001589	0,004766	0,007943	0,01112	0,014297	0,02224
28	0,003111	0,00933	0,01555	0,021777	0,02799	0,043554
36	0,00514	0,015419	0,025698	0,035977	0,046256	0,071954
44	0,007674	0,02302	0,03837	0,053718	0,069066	0,107436
52	0,010714	0,032142	0,05357	0,074997	0,096425	0,149995
60	0,014259	0,042778	0,071296	0,09981	0,1283	0,1996
68	0,0183	0,0549	0,0915	0,1282	0,1648	0,2563
76	0,0229	0,0686	0,1143	0,1601	0,2058	0,3201
84	0,0279	0,0838	0,1396	0,1955	0,2513	0,3910
92	0,0335	0,1005	0,1675	0,2344	0,3014	0,4689

Т а б л и ц а 5

Объемы пней сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в Красноярском крае

Диаметр пня в коре, см	Объем пня, м ³					
	высота пня, м					
	0,05	0,15	0,25	0,35	0,45	0,55
12	0,0013	0,0037	0,0062	0,0087	0,0112	0,0137
20	0,0034	0,0101	0,0168	0,0235	0,0302	0,0369
28	0,0065	0,0194	0,0323	0,0452	0,0581	0,0710

Окончание табл. 5

Диаметр пня в коре, см	Объем пня, м ³					
	высота пня, м					
	0,05	0,15	0,25	0,35	0,45	0,55
36	0,0105	0,0316	0,0526	0,0736	0,0946	0,1157
44	0,0155	0,0466	0,0776	0,1087	0,1397	0,1708
52	0,0215	0,0644	0,1074	0,1503	0,1933	0,2362
60	0,0284	0,0851	0,1418	0,1985	0,2552	0,3119
68	0,0362	0,1085	0,1808	0,2531	0,3254	0,3977
76	0,0449	0,1346	0,2244	0,3141	0,4038	0,4936
84	0,0545	0,1635	0,2725	0,3815	0,4905	0,5995
92	0,0650	0,1951	0,3251	0,4552	0,5852	0,7153

Выводы. Результаты исследований соответствуют следующим выводам.

– Для определения объема пня целесообразно использовать формулу Смалиана, поскольку процесс измерения и вычисления по ней максимально прост и обеспечивает приемлемую таксационную точность.

– Статистики объемобразующих признаков ($d_0, d_n, H_n, g_{n1/2}, V_n$) указывают на разнообразие исходного материала и приемлемую точность исходных данных (до 11%). С целью определения объемов пней предлагаются два варианта: связь $V_n = f(d_n)$ и зависимость $g_{n1/2 \text{ вып.}} \cdot H_n = f(d_n)$.

– Первый вариант предполагает установление объема в случае жестко регламентированных инструктивными данными высот пней. Второй вариант позволяет применять зависимость в условиях, когда высота пня не регламентирована (например, незаконные рубки).

– Составлены нормативы вычисления объемов пней с учетом размера пней по диаметру в коре и высоте пня для деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) Иркутской области и Красноярского края.

Список литературы

1. Кривоногов, С. К. Пневые горизонты в позднеплейстоценовых отложениях Сибири [Электронный ресурс] / С. К. Кривоногов. – Режим доступа: http://www.giscenter.ru/Carpos/Digital_publ/Buried_forest/Russian_text.htm.
2. Анищенко, Л. Н. Микросукцессионные смены сообществ бриофитов на стволах ветровальных почвенных комплексов [Электронный ресурс] / Л. Н. Анищенко. – Режим доступа: http://science-bsea.narod.ru/2006/les_2006/.
3. Капица, Е. А. Сравнение скорости разложения пней при рубках различных видов в ельниках черничных Европейской части таежной зоны / Е. А. Капица // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2007. – Вып. 181. – С. 52–65.
4. Титаренко, Ю. А. Определение некоторых параметров пней на вырубках горных дубрав / Ю. А. Титаренко // Молодые ученые к юбилею ин-та: тр. науч. конф. – М.: ВНИИ лесоводства и механиз. лесн. х-ва. – Деп. в ЦБНТИ лесхоз от 23 декабря 1983 г. № 263 лх-83. – С. 15–16.
5. Лесотаксационный справочник для северо-востока европейской части СССР / Арханг. лесотехн. ун-т; отв. ред. В. В. Загребев. – Архангельск: Из-во Арханг. ин-та леса и лесохимии, 1986. – 357 с.
6. Третьяков, Н. В. Справочник таксатора / Н. В. Третьяков, П. В. Горский, Г. Г. Самойлович. – Л.: Гослесбумиздат, 1952. – 853 с.
7. Марцинковский, Л. А. О зависимости между диаметрами деревьев лиственницы на высоте пня и на высоте груди / Л. А. Марцинковский // Лиственница: сб. науч. тр. – Красноярск: СТИ, 1964. – №39. – С. 15–17.
8. Указания по освидетельствованию мест рубок, подсочки (осмолоподсочки), насаждений и заготовки второстепенных лесных материалов. – Утв. пр. Госкомитета СССР по лесн. хоз-ву от 01.11.1983, № 130. – М., 1984. – 37 с.

9. Кишенков, Ф. В. Исследование сбежистости комлевой части стволов ели [Электронный ресурс] / Ф. В. Кишенков, А. А. Соломников, А. А. Касацкий. – Режим доступа: [http:// science-bsea.narod.ru /2007/ leskomp](http://science-bsea.narod.ru/2007/leskomp). – 2007/ kishenkov –iss.htm.
10. Об утверждении перечня лесорастительных зон и лесных районов Российской Федерации // Пр. МПР РФ от 28 марта 2007 г. № 68. – 12 с.
11. Методика определения запасов и массы древесного детрита на основе данных лесоустройства. – Утв. МПР от 25.08.2001 г. – М.: ВНИИЛМ, 2002. – 44 с.
12. Тюрин, А. В. Таксация леса: учебник для вузов / А. В. Тюрин. – 2-е изд. – М.: Гослестехиздат, 1945. – 375 с.

Статья поступила в редакцию 12.05.10.

A. A. Vais

PINUS SYLVESTRIS L STUMPS SIZE IN MIDDLE SIBERIA CONDITIONS

The models for stumps sizes calculation in the two variants are obtained. The stumps sizes standards for the forestlands of Krasnoyarsk territory and Irkutsk oblast are made up.

Key words: *size, stump, model, pinus sylvestris L., standard.*

ВАЙС Андрей Андреевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент Сибирского государственного технического университета (Красноярск). Область научных интересов – таксация растущих и срубленных деревьев, охрана природы. Автор более 200 публикаций.
E-mail: vais6365@mail.ru

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

УДК 625.*711.84

В. И. Чернякевич

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛЕСНЫХ ДОРОГ

Анализируются проблемы строительства лесных дорог в России. Рассматриваются отечественные и зарубежные технологические процессы их строительства. В работе предлагается малозатратная технология создания лесной дорожной инфраструктуры.

Ключевые слова: лесная дорога, технология, строительство, земляное полотно, машины, дорожная железобетонная плита.

Введение. В рассмотренной и одобренной VI Международным лесным форумом стратегии развития лесопромышленного комплекса России на период до 2015 года важное место уделено лесному дорожному строительству. Известно, что в комплексе лесозаготовок транспорт древесины является базой, на которой строится весь лесозаготовительный процесс, и решающим звеном, определяющим успешную работу предприятия. Успех в рыночной экономике достигает только такое предприятие, которое в полной мере согласует транспортный и технологические процессы, организует поставку заготовленной древесины в срок и в соответствии с требованиями потребителя.

В одном из выступлений В. В. Путин отметил, что в дорожном деле недостаточно используются новейшие достижения науки и практики, строительство дорог ведется по устаревшим нормативам с низким качеством, большими затратами материальных и финансовых средств. Такая ситуация характерна не только для дорог общей сети, но еще в большей степени для транспортной инфраструктуры лесной отрасли. Проблема строительства недорогих и надежных в эксплуатации лесных дорог, обеспечивающих доступность лесных ресурсов, неистощительное лесопользование, возможность проведения хозяйственных операций по охране, воспроизводству и контролю за использованием лесных ресурсов является актуальной. Опыт борьбы с лесными пожарами в 2010 году убедительно свидетельствует о том, что из-за бездорожья России лесным массивам, экосистемам и населению был нанесен трудно восстановимый многомиллиардный ущерб.

Целью работы является разработка ресурсосберегающей технологии строительства лесных дорог на основе выполненных научных исследований и анализа передового отечественного и зарубежного опыта. Решаемые **задачи:** совершенствование технологии выполнения подготовительных и основных работ при строительстве лесных дорог для снижения трудозатрат, времени работы машин и механизмов, повышения качества

выполняемых работ при минимизации их себестоимости; использование современных дорожно-строительных материалов и технологий при строительстве водопропускных труб и дорожных одежд; применение многослойного дорожного покрытия из плит мелкозернистого железобетона, изготовленного на местном недорогом заполнителе – песке.

При строительстве лесных дорог используются два метода организации работ: поточный и не поточный [1, 2]. Лесная дорога является инженерным сооружением, создаваемым для движения транспорта, перевозящего грузы и пассажиров. Ее основными элементами являются: земляное полотно, дорожная одежда с проезжей частью и обочинами, инженерные сооружения (мосты, трубы, водоотводящие канавы и т.п.), обстановка дороги (знаки, разметка и др.). При поточном методе, который признается основным, наиболее прогрессивным и теоретически разработанным, организуется комплексный поток, объединяющий специализированные потоки (звенья, бригады), оснащенные дорожными машинами и механизмами для выполнения отдельных видов работ. Только при небольших объемах работ, на которых нельзя организовать комплексный поток, рекомендуется применять непоточные методы: циклический или участковый.

Для постройки дороги необходимо выполнить взаимосвязанный комплекс подготовительных, основных и заключительных работ. Эти работы выполняются в полосе отвода земель. Ширина полосы отвода земель регулируется Земельным кодексом РФ, СНиПом 2.05.02-85, составляет для магистральных лесовозных дорог не менее 30 м. В ряде случаев общая ширина дорожной полосы может достигать более 40 м [1]. Установлено, что занимая большую территорию (4 – 6 га на 1 км), лесная дорога снижает ежегодный прирост древесины на 16 – 20 м³ на 1 км пути, ухудшает экологическую обстановку в целом [2]. Поэтому необходимо принимать все меры по снижению ущерба от изъятия земель, уменьшая ширину полосы отвода.

После разрубки просеки и вывозки леса продолжают подготовку дорожной полосы: корчуют или срезают пни, снимают растительный слой, убирают кустарник, подрост, валежник и валуны, неоднократно производят детальную разбивку земляных работ. При этом пни и растительный слой перемещают к границам полосы. В результате выполнения подготовительных работ дорожная полоса представляет собой замкнутую со всех сторон площадку, на которой может собираться и застаиваться вода. Для ее осушения в соответствии с рекомендациями норм [3, 4] устраиваются по бокам полосы канавы или дренаж за 10 – 15 дней до начала возведения земляного полотна. Таким образом, на выполнение подготовительных работ кроме лесозаготовительной техники потребуется комплект машин в составе корчевателя, бульдозера и канавокопателя. Известно, что на 1 км лесовозной дороги возводится в среднем 1 – 2 водопропускных сооружения. Для их строительства рекомендуются железобетонные круглые блоки (кольца) и блоки оголовков заводского изготовления [3, 4], укладываемые на бетонные фундаменты или гравийно-щебеночные подушки – основания. Строительство труб по существующей технологии состоит из комплекса операций: подготовительных работ, связанных с доставкой материалов и оборудования, подготовкой площадки, на которой впоследствии будет осуществлено устройство основания, монтаж блоков труб, устройство гидроизоляции и другие работы. Такая технология является материалоемкой, трудоемкой и высокочувствительной, по стоимости искусственные сооружения могут составлять от 10 до 25 % сметной стоимости строительства дороги [2]. Отметим, что в настоящее время получают распространение полипропиленовые трубы. Такие трубы производятся и в России, обладают повышенной устойчивостью к механическим воздействиям, надежностью в условиях температурных колебаний нашего климата, имеют сравнительно небольшую массу, выпускаются диаметром до 1137 мм. Эти трубы находят широкое применение на объектах строительства, например, в мелиорации.

Дорожное строительство в лесу осложняется тем, что оно ведется вдали от центров строительной индустрии в малоосвоенных и малонаселенных районах, связано с малопрочными, переувлажненными грунтами, дефицитом или полным отсутствием каменных материалов. Согласно действующему Лесному кодексу, дорожное обустройство лесных массивов является обязанностью арендаторов. Отметим, что рыночные отношения, конкуренция на товарном рынке, стремление к увеличению прибыли вынуждают арендаторов минимизировать затраты на строительство, содержание и ремонт лесных дорог, снижая тем самым транспортную составляющую в себестоимости продукции.

Снижение затрат может быть достигнуто на базе внедрения зарубежного опыта. Для российских арендаторов может быть интересен и полезен опыт Финляндии, где реализовано наибольшее приближение к модели неистощительного оптимального лесопользования. Строительство лесных дорог в этой стране выполняется в полосе, ширина которой всего 12 – 14 м. После валки леса в полосе и вывозке древесины никакие дополнительные подготовительные работы не ведутся и уже на этом этапе достигают значительного снижения себестоимости строительства. После уборки древесины производятся работы по возведению земляного полотна. Их наиболее существенным отличием от российских технологий является то, что они выполняются не комплектом машин, а только одной машиной – одноковшовым экскаватором на гусеничном ходу. Он разрабатывает и перемещает грунт из боковых канав в земляное полотно. Глубина канав составляет около 1,0 м, а высота насыпи достигает 0,5 – 0,6 м. Поперечный профиль такого земполотна представлен на рис. 1.

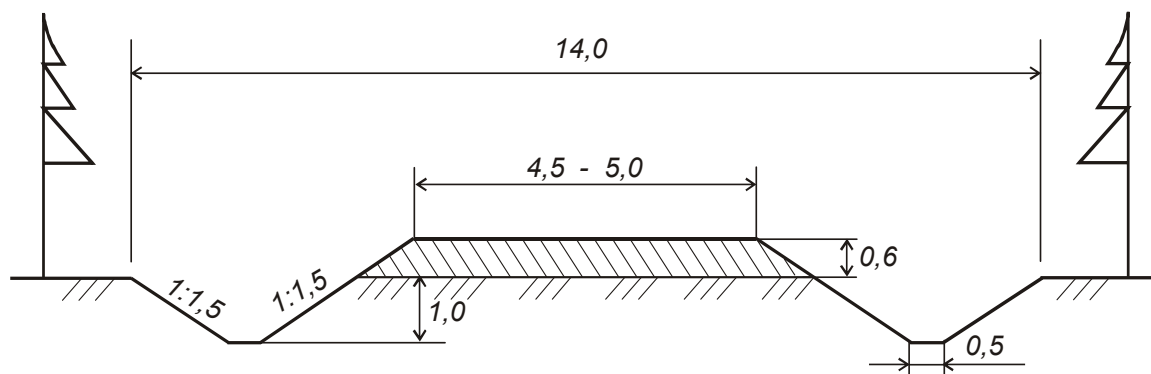


Рис. 1. Поперечный профиль насыпи, сооружаемой экскаватором из боковых канав

Так как экскаватор оборудуется ковшом со сплошной режущей кромкой, то он производит и грубую планировку верха земляного полотна, канав, откосов насыпи, а также и предварительное уплотнение грунта собственной массой, достигающей в зависимости от марки экскаватора 15 – 20 т. Этот же экскаватор, являясь универсальной машиной и имея грузозахватные приспособления (например, комплект строп), используется и при устройстве водопропускных сооружений из цельных металлических или иных труб. Необходимо заметить, что применение экскаватора, отсутствие ограничений по влажности и плотности грунтов позволяет существенно увеличить продолжительность дорожно-строительного сезона, составляющего при существующей технологии всего 78 – 108 рабочих дней [5]. Это позволит более эффективно использовать строительную технику, увеличить годовую выработку и сократить сроки строительства.

В дальнейшем, в течение нескольких лет происходит естественная стабилизация и уплотнение земляного грунта, по которому в летний период не допускается движение транспорта. Затем на просохшем полотне устраивается, как правило, однослойное гра-

вийное покрытие шириной 4,0 м, толщиной около 0,3 м из гравия местных карьеров без оптимизации его состава. В зависимости от грунтово-гидрологических условий местности могут использоваться фильтрующие, изолирующие и другие прослойки.

В большинстве лесных регионов нашей страны отсутствуют или остродефицитны природные каменные дорожно-строительные материалы (гравий, щебень). По нашему мнению, для таких регионов в качестве дорожных покрытий целесообразно использовать сборные железобетонные плиты. Их можно изготавливать на заводах ЖБИ круглый год с высоким качеством и заблаговременно (например, зимой) доставлять к месту укладки. Более чем полувековая практика применения сборных конструкций показала, что такие покрытия, по сравнению с другими, позволяют быстро нарастить как объем строительства лесных дорог, так и объемы лесозаготовки. Однако, применяемым до настоящего времени плитам и конструкциям покрытия из них присущи серьезные недостатки, сдерживающие их применение. Основными из них являются следующие:

- применение дорогостоящего (привозного) крупнозернистого заполнителя, щебня или гравия, значительно увеличивающего стоимость самих плит;
- несовершенство стыков плит в колесопроводе, влекущее к разрушению целостности как самих плит, так и дороги и приводящее к выходу плит из строя, потере эксплуатационных качеств покрытием, дополнительным затратам на ремонт и содержание.

В МарГТУ разработана и всесторонне исследована новая двухслойная конструкция сборного покрытия [6], в которой устранены указанные недостатки (рис. 2).

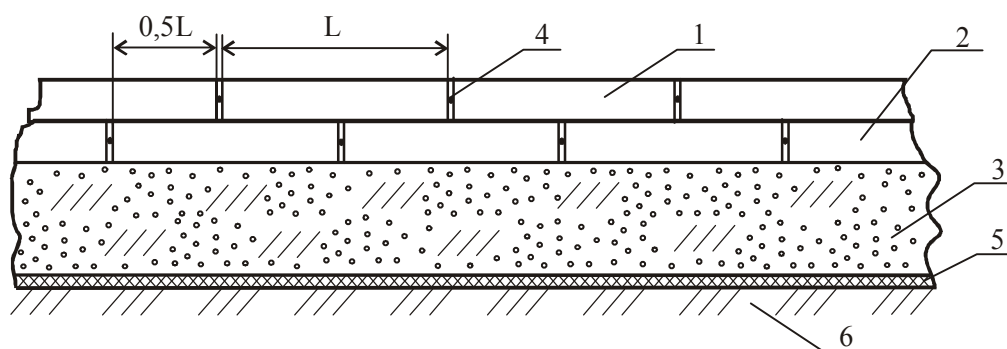


Рис. 2. Двухслойное дорожное покрытие из железобетонных плит: 1 – плиты верхнего слоя, 2 – плиты нижнего слоя, 3 – песчаное основание плит, 4 – стыковые соединения, 5 – теплонит, 6 – земляное полотно, L – длина плиты

В таком двухслойном покрытии, усиленном сварными стыками, нагрузка от колес транспорта передается верхней плитой как минимум на две плиты нижнего слоя. В результате значительно уменьшаются контактные напряжения в зоне взаимодействия плит с песчаным основанием, происходит выравнивание их по длине плиты. Это исключает появление опасных пластических деформаций в песчаном основании, подстилающем плиты, и в нижележащем грунте земляного полотна, значительно повышает эксплуатационную надежность как покрытия, так и дороги в целом. При неблагоприятных условиях местности (сырые, мокрые места с признаками заболачиваемости и т.п.) может быть выполнено дополнительное усиление дорожной конструкции за счет применения синтетического нетканого материала – теплонита, укладываемого на земляное полотно. Наиболее используемый теплонит имеет толщину 0,006 м и выпускается в виде полотна шириной до 2,2 м в рулонах до 40 м длины. Этот материал предназначен для гидро- и теплоизоляции, способен защитить дорожную конструкцию от морозного пучения грунта, что важно для эксплуатации дорог в российских условиях. Доказано,

что геотекстиль является экологически безопасным материалом, отличается высокой химической стойкостью, не подвержен гниению, значительно легче и прочнее геотекстильных материалов из других химволокон и их смесей. Геотекстиль предотвращает перемешивание песка подстилающего слоя с грунтом земляного полотна, защищает земляное полотно от переувлажнения при выпадении обильных атмосферных осадков и весеннего таяния снежного покрова. Сравнительный анализ технологических различий выполняемых работ используемой техники при существующей и разрабатываемой технологиях строительства лесной дороги выполнен в сводной таблице.

Сводная технологическая таблица выполняемых работ и используемой техники при существующей и разрабатываемой технологиях строительства лесной дороги

Технологическая операция	Существующая технология и машины	Проектируемая технология и машины
1	2	3
I. Подготовительные работы		
Валка и трелевка деревьев, обрубка сучьев, вывозка	Ширина просеки не менее 30 м (лесозаготовительная техника)	Ширина просеки до 14 м (сокращение объема работ используемой лесозаготовительной техники в 2 раза)
Корчевка пней, уборка валунов, валежника, кустарника и т.п.	Бульдозер, корчеватель (работа выполняется в резервах и в основании насыпей высотой до 0,5 м)	Экскаватор в местах прохождения канав, выкорчеванные пни укладываются в земляное полотно
Снятие растительного слоя	Бульдозер (работа выполняется в резервах в основании насыпи высотой до 0,5 м)	Не производится
II. Земляные работы		
Послойная разработка грунта в резервах и перемещение его в насыпь	Звено из 2 – 3 бульдозеров	Выполняется разработка грунта в боковых канавах экскаватором
Послойное разравнивание грунта в насыпи	Бульдозер	Не производится
Послойное уплотнение насыпи многократным проходом катков с контролем влажности и плотности	Каток, лаборатория	Не производится
Планировка верха, земляного полотна, откосов, резервов	Откосопланировщики, автогрейдер	Экскаватор
III. Строительство водопропускных труб		
Подготовка площадки	Бульдозер, землекопы	Не производится
Подготовка основания трубы	Бульдозер, землекопы	Экскаватор
Устройство гравийно-щебеночной подушки	Самосвал, бульдозер, землекопы	Не производится
Монтаж трубы	Кран на гусеничном ходу или автомобильный	Экскаватор со сменным оборудованием (стропы) для укладки цельной металлической или пропиленовой трубы
Гидроизоляция трубы	Рабочие	Не производится
IV. Строительство дорожной одежды		
Укладка гидро- и теплоизоляционного слоя геотекстиля	Не производится	Рабочие, проведение работ возможно в зимний период
Доставка песка и устройство подстилающего слоя (дополнительного основания)	Автосамосвалы, автогрейдер, каток	Автосамосвалы, автогрейдер (возможно в зимний период для предотвращения колеобразования)

О к о н ч а н и е т а б л.

V. Строительство дорожной одежды		
Доставка гравийного материала	Автосамосвалы	Не производится
Доставка плит		Автопоезда, автокран (сезон выполнения работ – зима), рабочие
Устройство гравийного покрытия	Автогрейдер, легкий и тяжелый катки	Не производится
Монтаж покрытия	Не производится	Кран, сварочный аппарат, рабочие
VI. Заключительные работы		
Рекультивация дорожной полосы (уборка снятого растительного слоя, выкорчеванных пней)	Экскаватор, автосамосвалы	Не производится
Обустройство дороги (установка знаков, обустройство разъездов, разметка)	Транспортные автомобили, рабочие	Транспортные автомобили, рабочие

Анализируя данные таблицы, можно констатировать следующее:

1) разрабатываемая технология строительства лесных дорог позволяет арендаторам минимизировать капитальные вложения на приобретение, лизинг или аренду дорожно-строительных машин, а также текущие затраты на их обслуживание;

2) существенно снизить потребность в специалистах, рабочих, уменьшить фонд оплаты труда и другие выплаты.

Необходимо отметить, что предлагаемая малозатратная технология строительства лесных дорог должна пройти широкую опытно-производственную апробацию с целью необходимых уточнений и дополнений.

В заключение отметим, что нами были изготовлены и испытаны опытные партии дорожных плит из мелкозернистого песчаного бетона, которые успешно прошли заводскую (ОАО «КПД», г. Йошкар-Ола) и производственную проверку на действующей лесовозной автомобильной дороге Майского ЛПХ Кировской области.

Выводы.

1. Развитая лесотранспортная инфраструктура – один из главных факторов, определяющих успех в развитии лесопромышленного комплекса.

2. Научной новизной проведенного исследования является малозатратная технология строительства лесных дорог, отличающаяся включением в дорожную конструкцию тепловлагозащитного слоя (теплонита).

3. В лесных регионах РФ, не имеющих в достаточном количестве природных каменных материалов, целесообразно использовать для покрытия дорог железобетонные плиты, изготовленные на местных песках с устройством двухслойных покрытий, разработанных в МарГТУ.

Список литературы

1. Ильин, Б. А. Теоретические основы проектирования организации строительства лесных дорог: учебное пособие для студ. спец. 26.01 / Б. А. Ильин; Отв. ред. Г. Ф. Грехов. – СПб.: ЛТА, 1992. – 192 с.
2. Салминен, Э. О. Транспорт леса: В 2 т. Т. 1 Сухопутный транспорт: учебник / Под ред. Салминена Э. О. (1-е изд.). – М.: Академия, 2009. – 368 с.
3. Технологические правила и карты строительства лесовозных автомобильных дорог: В 2 т. Т. 1 Технологические правила. – Л.: ГИПРОЛЕСТРАНС, 1975. – 209 с.

4. Технологические правила и карты строительства лесовозных автомобильных дорог: В 2 т. Т. 2 Технологические карты. – Л.: ГИПРОЛЕСТРАНС, 1975. – 206 с.
5. Васильев, А. П. Ремонт и содержание дорог: справочная энциклопедия дорожника. Т. 2 / А. П. Васильев, Э. В. Дингес, М. С. Когендон и др.; под ред. А. П. Васильева. – М.: Информавтодор, 2004. – 507 с.
6. Чернякевич, В. И. Конструирование и расчет многослойного дорожного покрытия из железобетонных плит: монография / В. И. Чернякевич, Н. Н. Пушкаренко, Л. М. Чернякевич. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. – 177 с.: ил.

Статья поступила в редакцию 16.10.10.

V. I. Chernyakevich

RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY OF FOREST ROADS CONSTRUCTION

The problems of forest roads construction in Russia are analyzed. Russian and foreign technological processes of forest road construction are considered. A low-cost technology of forest road construction infrastructure is proposed in the article.

Key words: forest road, technology, construction, subgrade, machinery, road reinforced concrete plate.

ЧЕРНЯКЕВИЧ Виктор Иосифович – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин МарГТУ. Область научных интересов – сухопутный транспорт леса. Автор 80 публикаций.

E-mail: ChernyakevichVI@marstu.net

УДК 681.2

А. В. Егоров, С. В. Зверев

ИНЕРЦИОННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗУБЧАТЫХ РЕДУКТОРОВ МАШИН ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА

Предложен и научно обоснован метод оценки энергетической эффективности зубчатых редукторов лесных машин. Метод позволяет производить оценку потерь на трение в приводном двигателе, подшипниковых узлах приводного двигателя и зубчатого редуктора, зубчатом зацеплении редуктора как на стадии контроля готового изделия, так и в процессе его эксплуатации, технического обслуживания и ремонта. Метод может быть реализован как универсальными, так и специализированными аппаратно-программными комплексами.

Ключевые слова: инерция, инерционная диагностика, энергоэффективность, зубчатые редукторы.

Введение. Современный этап развития лесозаготовительной, лесотранспортной и лесообрабатывающей отрасли в Российской Федерации характеризуется широким применением высокоэффективных машин и оборудования, в основном иностранного производства. В условиях свободной конкуренции на внутреннем рынке России спрос на продукцию отечественного машиностроения сокращается.

Проблема повышения конкурентоспособности продукции отечественного машиностроения носит комплексный характер. Ее разрешение зависит от решения ряда задач, в том числе и от решения задачи повышения энергоэффективности работы машин лесного комплекса в широком диапазоне возможных режимов работы. Решение задачи повышения энергоэффективности связано с развитием методов и средств исследования, испытаний, контроля и диагностики. Современный уровень развития методов и средств исследования энергоэффективности машин и оборудования не позволяет проводить комплексные исследования в широком диапазоне возможных режимов работы оборудования [1, 2].

Таким образом, сложилась проблемная ситуация, с одной стороны, есть необходимость в решении проблемы повышения энергетической эффективности машин и оборудования лесной отрасли, с другой – отсутствуют адекватные методы и средства решения проблемы.

Разработанный авторами подход позволяет перейти к решению проблемы, опираясь на инерционный метод и средства исследования энергоэффективности.

Цель работы – разработка инерционного метода оценки энергетической эффективности зубчатых редукторов машин лесного комплекса.

Решаемые задачи:

- 1) разработка теоретических основ инерционного метода оценки энергетической эффективности зубчатых редукторов машин лесного комплекса;
- 2) разработка теоретических основ инерционных способов оценки потерь на трение в подшипниковых узлах и зубчатом зацеплении.

Анализ работ, выполненных на базе научно-исследовательского института интроскопии Московского научно-производственного объединения «Спектр» (совместно с отделением энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН), возглавляемого академиком РАН В. В. Ключевым [3], показывает, что инерционные методы исследований, испытаний, диагностики и контроля не получили развития ввиду нерешенности основной проблемы инерционных испытаний – проблемы определения приведенного к оси вращения вала отбора мощности эффективного момента инерции вращающихся масс приводного двигателя вращательного действия.

Авторам в рамках инерционного метода удалось решить основную проблему, сдерживающую развитие инерционного метода исследований, испытаний, диагностики и контроля.

Инерционный метод оценки энергетической эффективности электрических двигателей. Суть решения проблемы поясним на примере двигателя вращательного действия, выходной вал которого соединен с потребителем с помощью соединительной муфты, имеющей промежуточную вставку в виде диска, обладающего эталонным моментом инерции (рис. 1).

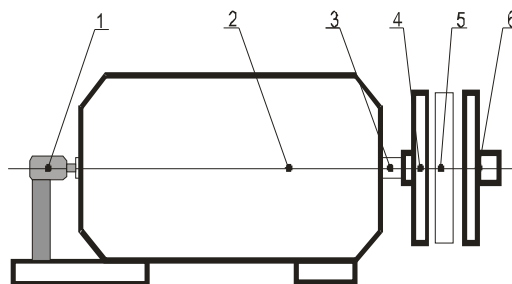


Рис. 1. Приводной двигатель вращательного действия: 1 – энкодер; 2 – двигатель вращательного действия; 3 – вал отбора мощности двигателя; 4 – полумуфта двигателя, 5 – диск с эталонным моментом инерции; 6 – полумуфта привода

Инерционный метод может быть осуществлен несколькими способами. Рассмотрим один из них.

Из муфты вынимаются скрепляющие устройства и удаляется диск 5 с эталонным моментом инерции. Двигатель 2 запускается на холостом ходу, угловая скорость выходного вала 3 доводится до номинальной, при этом определяется зависимость углового ускорения системы «вал отбора мощности двигателя и полумуфта двигателя» от угловой скорости:

$$\varepsilon_1(\omega) = \frac{\omega + d\omega - \omega}{dt}. \quad (1)$$

Определение зависимости углового ускорения выходного вала от угловой скорости происходит с помощью энкодера. В режиме холостого хода уравнение движения имеет следующий вид:

$$M(\omega) = j(\omega) \cdot \varepsilon_1(\omega), \quad (2)$$

где $j(\omega)$ – зависимость момента инерции системы «вал отбора мощности двигателя и полумуфта двигателя» с учетом потерь на трение в опорах от угловой скорости вала отбора мощности двигателя.

Далее двигатель останавливается.

Затем с вала привода демонтируется полумуфта привода 6, а на полумуфту двигателя 4 с помощью скрепляющих элементов устанавливается диск с эталонным моментом инерции 5, обладающий эталонным моментом инерции j_3 . Двигатель запускается

на холостом ходу, и угловая скорость системы «вал отбора мощности двигателя, полумуфта двигателя и диск с эталонным моментом инерции» доводится до номинальной, определяется зависимость углового ускорения системы «вал отбора мощности двигателя, полумуфта двигателя, диск с эталонным моментом инерции» от угловой скорости:

$$\varepsilon_2(\omega) = \frac{\omega + d\omega - \omega}{dt} = \frac{d\omega}{dt}. \quad (3)$$

В режиме холостого хода двигателя вращательного действия уравнение движения имеет следующий вид:

$$M(\omega) = (j(\omega) + j_s) \cdot \varepsilon_2(\omega). \quad (4)$$

Так как в режиме холостого хода крутящий момент двигателя остается величиной постоянной, приравниваем правые части выражения (2) и (4) и определяем зависимость момента инерции системы «вал отбора мощности двигателя, полумуфта двигателя» с учетом потерь на трение в опорах вала отбора мощности двигателя:

$$j(\omega) = j_s \cdot \frac{\varepsilon_2(\omega)}{\varepsilon_1(\omega) - \varepsilon_2(\omega)}. \quad (5)$$

Момент инерции полумуфты двигателя и скрепляющих элементов j_{nm} легко определяются на основе их массовых и геометрических характеристик.

Тогда зависимость момента инерции вала отбора мощности двигателя вращательного действия с учетом потерь на трение в его опорах:

$$j_e(\omega) = j(\omega) - j_{nm}. \quad (6)$$

Воспользовавшись методом крутильных колебаний [4], определяют момент инерции ротора двигателя вращательного действия j_p . Определив на основе массовых и геометрических характеристик моменты инерции внутренних колец подшипников и их тел качения j_{ny} , получают зависимость потерь на трение в подшипниковых узлах:

$$j_{mp}(\omega) = j_e(\omega) - j_p - j_{ny}. \quad (7)$$

Общая механическая мощность, развиваемая валом отбора мощности двигателя, с учетом выражения (5):

$$N(\omega) = j(\omega)\varepsilon_1(\omega)\omega = j_s \cdot \frac{\varepsilon_1(\omega)\varepsilon_2(\omega)\omega}{\varepsilon_1(\omega) - \varepsilon_2(\omega)}. \quad (8)$$

Мощность механических потерь:

$$N_{mn}(\omega) = j_{mp}(\omega)\varepsilon_1(\omega)\omega. \quad (9)$$

Зависимость механического коэффициента полезного действия от угловой скорости вала отбора мощности электродвигателя с учетом выражений (8) и (9):

$$\eta(\omega) = \frac{N(\omega) - N_{mn}(\omega)}{N(\omega)} = 1 - \frac{j_{mp}(\omega)[\varepsilon_1(\omega) - \varepsilon_2(\omega)]}{j_s \cdot \varepsilon_2(\omega)}. \quad (10)$$

Зубчатые передачи нашли широкое применение в технике, в частности в машинах и оборудовании лесозаготовок и лесного комплекса. Наиболее распространенная форма применения зубчатых передач в виде одно- или многоступенчатых редукторов.

Инерционный метод оценки энергетической эффективности зубчатых редукторов машин лесного комплекса. Рассмотрим инерционный метод оценки энергетической эффективности зубчатых редукторов на примере зубчатого редуктора, работающего в составе асинхронного электропривода. В этом случае инерционный метод реализуется последовательным выполнением следующих действий:

1. Определение зависимости эффективной мощности от угловой скорости ротора приводного электрического двигателя инерционным методом.

2. Определение момента инерции входного вала редуктора с установленным на нем зубчатым колесом методом крутильных колебаний.

3. Определение зависимости мощности потерь на трение от угловой скорости ротора приводного электрического двигателя в опорах входного вала инерционным методом.

4. Определение момента инерции выходного вала редуктора с установленным на нем зубчатым колесом методом крутильных колебаний.

5. Определение зависимости мощности потерь на трение от угловой скорости ротора приводного электрического двигателя в опорах выходного вала инерционным методом.

6. Определение зависимости суммарной мощности потерь на трение в опорах входного и выходного вала редуктора в зависимости от угловой скорости ротора приводного электрического двигателя.

7. Определение зависимости мощности потерь на трение в зубчатом зацеплении в зависимости от угловой скорости ротора приводного электрического двигателя.

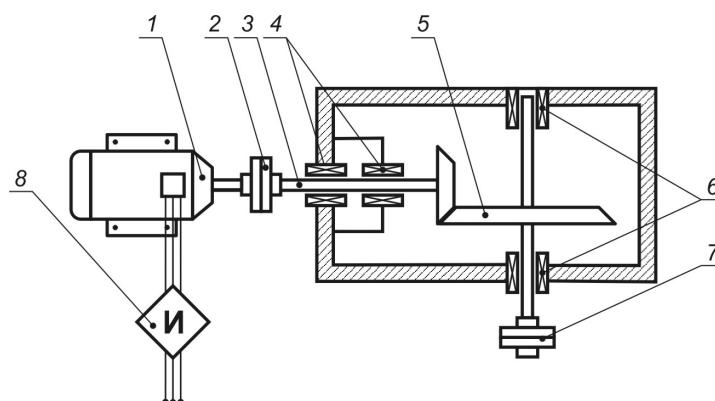


Рис. 2. Схема зубчатого редуктора с электроприводом от асинхронного электродвигателя:

- 1 – асинхронный электродвигатель; 2 – предохранительная муфта электродвигателя;
3 – быстроходный вал-шестерня; 4 – опорные подшипники быстроходного вала;
5 – тихоходный вал с надетым на него зубчатым колесом; 6 – опорные подшипники тихоходного вала;
7 – предохранительная муфта редуктора; 8 – частотный преобразователь (инвертор)

Представим реализацию метода более подробно. На рис. 2 представлена схема одноступенчатого конического зубчатого редуктора с электроприводом от асинхронного электродвигателя.

На первом этапе определение зависимости эффективной мощности от угловой скорости ротора приводного электрического двигателя осуществляется инерционным методом. Зная расчетный или экспериментально определенный методом крутильных колебаний момент инерции $J_{\text{пмэ}}$ предохранительной муфты электродвигателя 2, определяется момент инерции $J_{\text{азд}}$ ротора асинхронного электродвигателя 1 с учетом потерь на трение в его опорах согласно схеме рис. 3.



Рис. 3. Схема определения момента инерции ротора асинхронного электродвигателя с учетом потерь на трение в его опорах

Сначала производится определение динамики угловых ускорений ротора с установленной на выходном валу предохранительной муфтой электродвигателя $\varepsilon_1(\omega)$, а затем без нее $\varepsilon_2(\omega)$. Учитывая, что свободный разгон осуществляется фактически в режиме холостого хода, то произведения составляющих крутящего момента, моменты инерции и угловые ускорения при первом и втором разгоне могут быть приравнены друг к другу:

$$(J_{\text{лмэ}} + J_{\text{аэд}}(\omega))\varepsilon_1(\omega) = J_{\text{аэд}}(\omega)\varepsilon_2(\omega). \quad (11)$$

Из (11) рассчитывается зависимость момента инерции ротора электродвигателя с учетом потерь на трение в опорах:

$$J_{\text{аэд}}(\omega) = \frac{J_{\text{лмэ}}\varepsilon_1(\omega)}{\varepsilon_2(\omega) - \varepsilon_1(\omega)}. \quad (12)$$

На втором этапе асинхронный электродвигатель 1 подвергается разбору и из него извлекается ротор. Затем, методом крутильных колебаний, используя в качестве эталона предохранительную муфту электродвигателя 2 с моментом инерции $J_{\text{лмэ}}$, определяют момент инерции ротора асинхронного электродвигателя $J_{\text{раэд}}$.

Зная динамику $J_{\text{аэд}}(\omega)$ и значение $J_{\text{раэд}}$, можно определить динамику приведенного момента инерции потерь в подшипниковых узлах $J_{\text{птуэд}}(\omega)$ асинхронного электродвигателя 1:

$$J_{\text{птуэд}}(\omega) = J_{\text{аэд}}(\omega) - J_{\text{раэд}}. \quad (13)$$

Взяв массив $\varepsilon_2(\omega)$, массив угловых скоростей ω и умножив на соответствующие значения и массивы $J_{\text{раэд}}$, $J_{\text{птуэд}}(\omega)$, $J_{\text{аэд}}(\omega)$, получим динамику механической мощности, развиваемой ротором электродвигателя $N_{\text{раэд}}(\omega)$, динамику мощности потерь в подшипниковых узлах асинхронного электродвигателя $N_{\text{птуэд}}(\omega)$, динамику эффективной механической мощности асинхронного электродвигателя $N_{\text{аэд}}(\omega)$.

Динамика крутящего момента на выходе предохранительной муфты электродвигателя 2:

$$M(\omega) = (J_{\text{аэд}}(\omega) + J_{\text{лмэ}})\varepsilon_1(\omega). \quad (14)$$

На третьем этапе, разобрав редуктор и используя в качестве эталона предохранительную муфту электродвигателя 2 с моментом инерции $J_{\text{лмэ}}$, методом крутильных колебаний определяем момент инерции вала-шестерни 3 $J_{\text{ви}}$ (рис. 4).

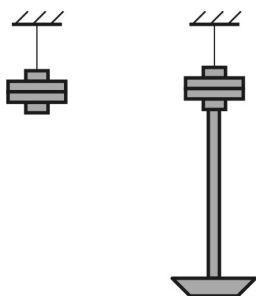


Рис. 4. Последовательность определения момента инерции вала-шестерни

На четвертом этапе редуктор собирается без тихоходного вала, а вал-шестерня 3 через предохранительную муфту электродвигателя 2 соединяется с выходным валом

асинхронного электродвигателя 1 (рис. 5) и определяется динамика угловых ускорений $\varepsilon_3(\omega)$ системы «асинхронный электродвигатель 1 – предохранительная муфта электродвигателя 2 – вал-шестерня 3». Динамика крутящего момента системы вращающихся масс определяется как:

$$M(\omega) = (J_{ад}(\omega) + J_{нмэ} + J_{ви}(\omega))\varepsilon_3(\omega), \quad (15)$$

где $J_{ви}(\omega)$ – динамика момента инерции вала-шестерни с учетом потерь на трение в опорах.

Зная динамику $J_{ви}(\omega)$ и значение $J_{ви}$, определенную методом крутильных колебаний, можно определить динамику приведенного момента инерции потерь в $J_{пови}(\omega)$ в опорных подшипниках 4 быстроходного вала-шестерни 3:

$$J_{пови}(\omega) = J_{ви}(\omega) - J_{ви}. \quad (16)$$

Динамика мощности потерь в опорных подшипниках быстроходного вала-шестерни 4:

$$N_{пови}(\omega) = J_{пови}(\omega)\varepsilon_3(\omega)\omega. \quad (17)$$

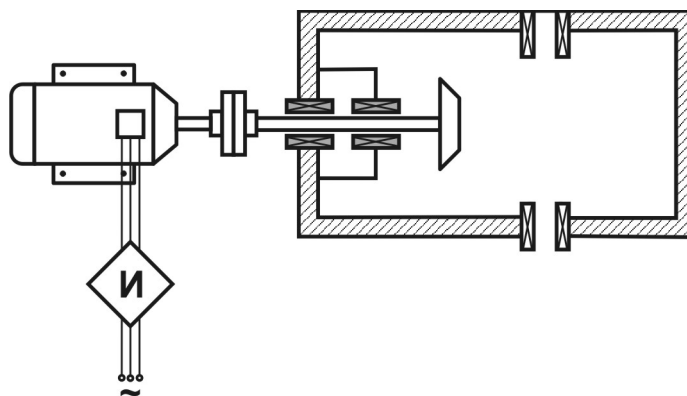


Рис. 5. Схема для определения потерь на трение в подшипниках быстроходного вала-шестерни

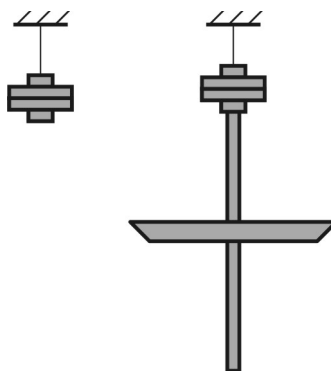


Рис. 6. Последовательность определения момента инерции тихоходного вала с надетым на него зубчатым колесом

На пятом этапе, используя в качестве эталона предохранительную муфту редуктора 7 с моментом инерции $J_{нмр}$, методом крутильных колебаний определяем момент инерции тихоходного вала с надетым на него зубчатым колесом $J_{тв}$ (рис. 6).

На шестом этапе редуктор собирается без быстроходного вала, а тихоходный вал с надетым на него зубчатым колесом 5 через предохранительную муфту редуктора 7 со-

единяется с выходным валом асинхронного электродвигателя 1 (рис. 7). При этом с помощью частотного преобразователя 8 устанавливается такая частота питающего напряжения электродвигателя 1, чтобы тихоходный вал развивал такую же максимальную угловую скорость, как и в случае его привода со стороны быстроходного вала-шестерни. Затем асинхронный электродвигатель 1 запускается и определяется динамика угловых ускорений $\varepsilon_4(\omega)$ системы «асинхронный электродвигатель 1 – предохранительная муфта редуктора 7 – тихоходный вал 5».

Динамика крутящего момента системы вращающихся масс определяется как:

$$M(\omega) = (J_{\text{азд}}(\omega) + J_{\text{нмр}} + J_{\text{тв}}(\omega))\varepsilon_4(\omega), \quad (18)$$

где $J_{\text{тв}}(\omega)$ – динамика момента инерции тихоходного вала с учетом потерь в опорах тихоходного вала.

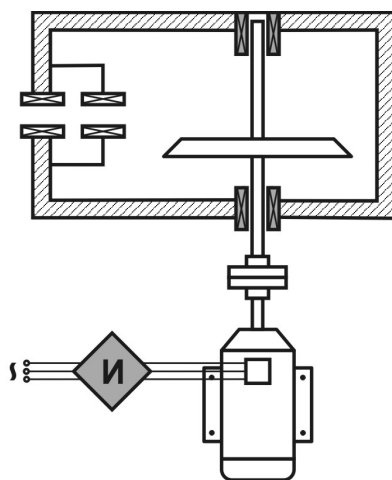


Рис. 7. Схема определения потерь в опорных подшипниках тихоходного вала

Зная динамику $J_{\text{тв}}(\omega)$ и значение $J_{\text{тв}}$, можно определить динамику приведенного момента инерции потерь $J_{\text{поттв}}(\omega)$ в опорных подшипниках 4 тихоходного вала 5:

$$J_{\text{поттв}}(\omega) = J_{\text{тв}}(\omega) - J_{\text{тв}}. \quad (19)$$

Динамика мощности потерь в опорных подшипниках тихоходного вала 5:

$$N_{\text{поттв}}(\omega) = J_{\text{поттв}}(\omega)\varepsilon_4(\omega)\omega. \quad (20)$$

На седьмом этапе редуктор полностью собирают, а асинхронный электродвигатель 1 снова подсоединяют к быстроходному валу-шестерне 3 через предохранительную муфту электродвигателя 2. С помощью преобразователя частоты уменьшают частоту питающего напряжения до номинальной, при которой асинхронный электродвигатель 1 разовьет номинальную частоту вращения. Определяют суммарный приведенный момент инерции вращающихся масс всего привода к ротору асинхронного электродвигателя 1 согласно общепринятой методике на основе закона сохранения кинетической энергии за исключением приведенного момента инерции потерь в зубчатой передаче:

$$J_{\text{пр0}}(\omega) \frac{\omega^2}{2} = [J_{\text{азд}}(\omega) + J_{\text{нмз}} + J_{\text{вш}}(\omega)] \frac{\omega^2}{2} + [J_{\text{тв}}(\omega) + J_{\text{нмр}}] \frac{\omega^2}{2i^2}. \quad (21)$$

$$J_{\text{пр0}}(\omega) = J_{\text{азд}}(\omega) + J_{\text{нмз}} + J_{\text{вш}}(\omega) + \frac{J_{\text{тв}}(\omega)}{i^2} + \frac{J_{\text{нмр}}}{i^2}, \quad (22)$$

где i – передаточное отношение зубчатой передачи.

Далее асинхронный электродвигатель I запускается и определяется динамика угловых ускорений $\varepsilon_5(\omega)$ всего зубчатого редуктора с электроприводом в сборе, при этом динамика крутящего момента, развиваемого электродвигателем, определится как:

$$M(\omega) = (J_{np0}(\omega) + J_{нзн}(\omega))\varepsilon_5(\omega). \quad (23)$$

Приравнивая выражения (14) и (23), определяют динамику приведенного к оси вращения ротора асинхронного электродвигателя момента инерции потерь в зубчатом зацеплении:

$$J_{нзн}(\omega) = (J_{азд}(\omega) + J_{нмэ}) \frac{\varepsilon_1(\omega)}{\varepsilon_5(\omega)} - J_{np0}(\omega). \quad (24)$$

Общий приведенный к оси вращения ротора асинхронного электродвигателя момент инерции вращающихся масс зубчатого редуктора с электроприводом в сборе:

$$J_{np}(\omega) = J_{азд}(\omega) + J_{нмэ} + J_{виш}(\omega) + J_{нзн}(\omega) + \frac{J_{мв}(\omega)}{i^2} + \frac{J_{нмп}}{i^2}. \quad (25)$$

Запишем выражение (25) через элементарные составляющие:

$$J_{np}(\omega) = J_{разд} + J_{ппуазд}(\omega) + J_{нмэ} + J_{виш} + J_{нонвиш}(\omega) + J_{нзн}(\omega) + \frac{J_{мв}}{i^2} + \frac{J_{нонмв}(\omega)}{i^2} + \frac{J_{нмп}}{i^2}. \quad (26)$$

Мощность, развиваемая отдельными элементами зубчатого электропривода, определяется как:

$$\begin{aligned} N(\omega) = & J_{разд}\varepsilon_5(\omega)\omega + J_{ппуазд}(\omega)\varepsilon_5(\omega)\omega + J_{нмэ}\varepsilon_5(\omega)\omega + J_{виш}\varepsilon_5(\omega)\omega + \\ & J_{нонвиш}(\omega) + J_{нзн}(\omega)\varepsilon_5(\omega)\omega + \frac{J_{мв}}{i^2} \frac{\varepsilon_5(\omega)\omega}{i^2} + \frac{J_{нонмв}(\omega)}{i^2} \frac{\varepsilon_5(\omega)\omega}{i^2} + \\ & \frac{J_{нмп}}{i^2} \frac{\varepsilon_5(\omega)\omega}{i^2}. \end{aligned} \quad (27)$$

Зная динамику активной мощности электрической энергии $N_{аз}(\omega)$, поступающей на вход электродвигателя, зная $N(\omega)$, зная мощность потерь в обмотках электродвигателя $N_n(\omega)$, определяют мощность потерь на вихревые токи и гистерезис в приводном асинхронном электродвигателе:

$$N_{вт,г}(\omega) = N_{аз}(\omega) - N(\omega) - N_n(\omega). \quad (28)$$

Определив на уровне отдела технического контроля (ОТК) предприятия изготовителя зубчатого электропривода динамику значений $J_{np}(\omega)$, определив допуск на изменение этого показателя в процессе эксплуатации зубчатого электропривода и оснатив привод аппаратно-программным комплексом инерционной диагностики $J_{np}(\omega)$, в процессе эксплуатации пользователь имеет возможность оперативного реагирования на ухудшение энергетических показателей работы привода. На основе измерения показателя $J_{np}(\omega)$ возможно проведение технического обслуживания и текущего ремонта по мере необходимости поддержания показателей энергоэффективности на высоком уровне. С помощью реализации инерционного метода диагностики возможно достижение высокой энергетической эффективности зубчатого редуктора в течение полного жизненного цикла.

Методика определения энергетической эффективности зубчатых редукторов с регулируемым передаточным отношением, имеющих число ступеней более двух, аналогична представленной схеме.

Выводы. Инерционный метод оценки энергоэффективности зубчатых редукторов может быть использован в исследовательских целях при проведении опытно-конструкторских работ над новыми образцами технических изделий, на стадиях промышленных испытаний вновь произведенной продукции и стадии технической эксплуатации в течение полного жизненного цикла.

На инерционный метод оценки энергоэффективности зубчатых редукторов подана заявка на изобретение Российской Федерации.

Список литературы

1. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, В. Н. Филинов и др.; Под ред. В. В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1995. – 488 с.
2. *Клюев, В. В.* Машиностроение. В 40 томах. Том III-7. Измерения, контроль, испытания и диагностика / В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, В. Н. Филинов. – М.: Машиностроение, 2005. – 464 с.
3. www.niini.ru (дата обращения 27.09.2010).
4. ГОСТ 7217-87. Машины электрические вращающиеся. Двигатели асинхронные. Методы испытаний.

Статья поступила в редакцию 07.10.10.

A. V. Egorov, S. V. Zverev

INERTIAL METHOD OF FOREST COMPLEX MACHINERY GEAR REDUCERS ENERGETIC EFFICIENCY EVALUATION

A method of gear reducers energetic efficiency evaluation in the forest cars is offered and scientifically grounded. The method allows to value friction loss in the power motor, bearing units of the power motor and gear reduction, in redactor gearing both at the stage of complete product control and in the process of its exploitation, servicing and maintenance. The method can be implemented as universal as particularized hardware and software program complexes.

Key words: *inertness, inertial diagnostics, energy efficiency, gear reducers.*

ЕГОРОВ Алексей Васильевич – докторант, кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин МарГТУ. Область научных интересов – энергоэффективность и энергосбережение. Автор более 60 публикаций.

E-mail: Egorov@marstu.net

ЗВЕРЕВ Сергей Владимирович – аспирант кафедры транспортно-технологических машин МарГТУ. Область научных интересов – энергоэффективность и энергосбережение. Автор семи публикаций.

E-mail: day_to_day@mail.ru

УДК 630*32

В. А. Александров, О. Н. Бурмистрова, Н. Р. Шоль

О НАГРУЖЕННОСТИ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ВАЛОЧНО-ПАКЕТИРУЮЩЕЙ МАШИНЫ В РЕЖИМЕ ПЕРЕОРИЕНТИРОВАНИЯ ХОДОВОЙ СИСТЕМЫ

Исследована динамика переходного процесса силовой установки при переориентации ходовой системы в режиме стопорения валочно-пакетирующей машины при разборе завалов леса. На основе решения уравнений Лагранжа II рода получена зависимость момента в упругой связи привода от угловой скорости перед началом стопорения машины. Подстановка численных значений параметров показала рост динамического момента в упругой связи привода от 20,5 до 600 Н·м в зависимости от угловой скорости перед стопорением и жесткости упругих связей. Нагрузки свыше 300 Н·м приводят к снижению частоты вращения коленчатого вала силовой установки ниже предельно допустимого уровня вплоть до полной остановки двигателя.

Ключевые слова: математическая модель, разбор завалов леса, нагруженность силовой установки, перенесение ходовой системы, вывешенный корпус.

Введение. В настоящее время механизация разбора леса после ветровала продолжает оставаться одной из важнейших нерешенных задач.

При разборе завалов леса валочно-пакетирующие машины будут работать в экстремальных условиях не только при движении по захламленной лесосеке, но и при оперировании с предметом труда – вырванными с корнями деревьями или обломами деревьев, поэтому на первый план выступает задача оценки возможности использования этих машин на разборе завалов, прежде всего, с позиций нагруженности.

Работа валочно-пакетирующей машины при разборе завалов сопровождается дополнительными операциями [1], такими как:

- перевод ствола облома в вертикальное положение поворотом захватно-срезающего устройства «снизу – вверх»;
- вытаскивание обломанного или вырванного с корнем дерева из завала стрелой или рукоятью или одновременным включением обеих;
- преодоление препятствий при технологических переездах методом «вывешивания машины»;
- переориентирование ходовой системы в вывешенном положении относительно корпуса.

В случае переориентирования ходовой системы динамическая нагруженность силовой установки валочно-пакетирующей машины существенно возрастает, что определяет актуальность темы исследования.

Цель работы – аналитическое решение задачи возрастания динамической нагрузки на привод валочно-пакетирующей машины в режиме переориентирования ходовой системы в вывешенном положении относительно корпуса.

Решаемые задачи:

- 1) построение эквивалентной схемы механической системы валочно-пакетирующей машины в режиме переориентирования ходовой системы;
- 2) постановка математической задачи определения амплитуды колебаний и динамической нагрузки на привод валочно-пакетирующей машины в режиме переориентирования ходовой системы;
- 3) решение системы полученных дифференциальных уравнений;
- 4) оценка результатов решения задачи на основе подстановки численных значений параметров валочно-пакетирующей машины в режиме переориентирования ходовой системы.

Решение задачи. Кинематическая схема валочно-пакетирующей машины в режиме переориентирования ходовой системы относительно вывешенного корпуса приведена на рис. 1, а. На основе кинематической схемы валочно-пакетирующей машины составлена расчетная эквивалентная схема механической системы (рис. 1, б) [2, 3].

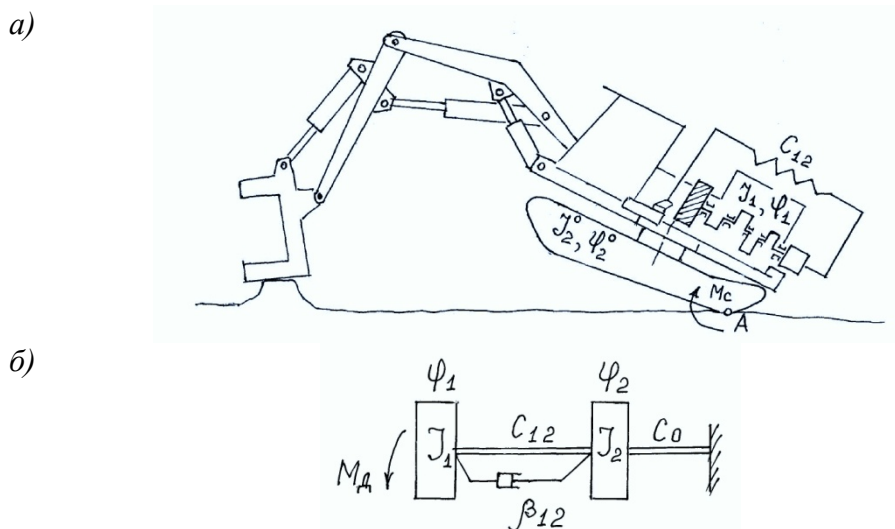


Рис. 1. Расчетные схемы механической системы:
а – исходная; б – эквивалентная

Для достижения цели использована вариационная постановка задачи динамики привода валочно-пакетирующей машины на основе уравнения Лагранжа II рода.

Для вычисления функции Лагранжа определяются:

- кинетическая энергия системы $T = \frac{1}{2} I_1 \dot{\varphi}_1^2 + \frac{1}{2} I_2 \dot{\varphi}_2^2$;
- потенциальная энергия системы $\Pi = \frac{1}{2} C_{12} (\varphi_1 - \varphi_2)^2 + \frac{1}{2} C_0 \varphi_2^2$;
- диссипативная функция Рэлея $\Phi = \frac{1}{2} \beta_{12} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2)^2$.

В соответствии с уравнением Лагранжа II рода получим следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} I_1 \ddot{\varphi}_1 + \beta_{12} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + C_{12} (\varphi_1 - \varphi_2) &= M_d; \\ I_2 \ddot{\varphi}_2 + C_0 \varphi_2 + M_c &= \beta_{12} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + C_{12} (\varphi_1 - \varphi_2). \end{aligned} \quad (1)$$

После умножения уравнений системы (1) соответственно на I_1 и I_2 и последующего сложения запишем

$$I_2 I_1 (\ddot{\varphi}_1 - \ddot{\varphi}_2) + \beta_{12} (I_1 + I_2) (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + C_{12} (I_1 + I_2) (\varphi_1 - \varphi_2) - I_1 C_0 \varphi_2 = I_2 M_{\mathcal{D}} + I_1 M_c. \quad (2)$$

Разделив на $I_1 I_2$ уравнение (2) и добавив к нему второе уравнение системы (1), получим систему

$$\begin{aligned} (\ddot{\varphi}_1 - \ddot{\varphi}_2) + \frac{\beta_{12} (I_1 + I_2)}{I_1 I_2} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + \frac{C_{12} (I_1 + I_2)}{I_1 I_2} (\varphi_1 - \varphi_2) - \frac{C_0 \varphi_2}{I_2} &= \frac{M_{\mathcal{D}}}{I_1} + \frac{M_c}{I_2}; \\ I_2 \ddot{\varphi}_2 + C_0 \varphi_2 + M_c &= \beta_{12} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + C_{12} (\varphi_1 - \varphi_2). \end{aligned} \quad (3)$$

Из первого уравнения системы (3) выразим φ_2 и $\ddot{\varphi}_2$

$$\begin{aligned} \varphi_2 &= \frac{I_2}{C_0} (\ddot{\varphi}_1 - \ddot{\varphi}_2) + \frac{\beta_{12} (I_1 + I_2)}{I_1 C_0} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + \frac{C_{12} (I_1 + I_2)}{I_1 C_0} (\varphi_1 - \varphi_2) - \frac{I_2 M_{\mathcal{D}}}{I_1 C_0} - \frac{M_c}{C_0}, \\ \ddot{\varphi}_2 &= \frac{I_2}{C_0} (\varphi_1^{IV} - \varphi_2^{IV}) + \frac{\beta_{12} (I_1 + I_2)}{I_1 C_0} (\varphi_1^{III} - \varphi_2^{III}) + \frac{C_{12} (I_1 + I_2)}{I_1 C_0} (\ddot{\varphi}_1 - \ddot{\varphi}_2). \end{aligned}$$

Полученные значения φ_2 и $\ddot{\varphi}_2$ подставим во второе уравнение системы (3)

$$\begin{aligned} \frac{I_2^2}{C_0} (\varphi_1^{IV} - \varphi_2^{IV}) + \frac{\beta_{12} (I_1 + I_2) I_2}{I_1 C_0} (\varphi_1^{III} - \varphi_2^{III}) + \frac{I_2 C_{12} (I_1 + I_2)}{I_1 C_0} (\ddot{\varphi}_1 - \ddot{\varphi}_2) + I_2 (\ddot{\varphi}_1 - \ddot{\varphi}_2) + \\ + \frac{\beta_{12} (I_1 + I_2)}{I_1} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + \frac{C_{12} (I_1 + I_2)}{I_1} (\varphi_1 - \varphi_2) - \frac{I_2 M_{\mathcal{D}}}{I_1} = \beta_{12} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + C_{12} (\varphi_1 - \varphi_2). \end{aligned}$$

Преобразуя полученное уравнение, получим

$$\begin{aligned} (\varphi_1^{IV} - \varphi_2^{IV}) + \frac{\beta_{12} (I_1 + I_2)}{I_1 I_2} (\varphi_1^{III} - \varphi_2^{III}) + \frac{[C_{12} (I_1 + I_2) + I_1 C_0]}{I_1 \cdot I_2} (\varphi_1^{II} - \varphi_2^{II}) + \\ + \frac{C_0 \beta_{12}}{I_1 I_2} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + \frac{C_{12} C_0}{I_1 I_2} (\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{M_{\mathcal{D}} C_0}{I_1 I_2}. \end{aligned}$$

Обозначим:

$$A = \frac{\beta_{12} (I_1 + I_2)}{I_1 I_2}; \quad B = \frac{[C_{12} (I_1 + I_2) + I_1 C_0]}{I_1 \cdot I_2}; \quad C = \frac{C_0 \beta_{12}}{I_1 I_2}; \quad \mathcal{D} = \frac{C_{12} C_0}{I_1 I_2}; \quad E = \frac{M_{\mathcal{D}} C_0}{I_1 I_2}.$$

Тогда окончательно имеем:

$$(\varphi_1^{IV} - \varphi_2^{IV}) + A (\varphi_1^{III} - \varphi_2^{III}) + B (\varphi_1^{II} - \varphi_2^{II}) + C (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + \mathcal{D} (\varphi_1 - \varphi_2) = E. \quad (4)$$

Уравнение (4) является неоднородным и его решение складывается из частного решения θ_1 и решения однородного уравнения θ_2 :

$$\theta = \theta_1 + \theta_2.$$

Частное решение θ_2 представляет собой приведенную статическую деформацию упругой связи C_{12} , то есть

$$\theta_2 = E / \mathcal{D}.$$

Введя новую переменную $\theta_1 = (\varphi_1 - \varphi_2) - E / \mathcal{D}$, получим однородное дифференциальное уравнение вида

$$\theta_1^{IV} + A \cdot \theta_1^{III} + B \cdot \theta_1^{II} + C \cdot \dot{\theta}_1 + \mathcal{D} \cdot \theta_1 = 0. \quad (5)$$

Его характеристическое уравнение будет

$$\psi^4 + A \cdot \psi^3 + B \cdot \psi^2 + C \cdot \psi + D = 0. \quad (6)$$

Уравнение (6) имеет две пары комплексно-сопряженных корней с отрицательными вещественными частями [1]

$$\psi_{1,2} = -\alpha \pm ik; \psi_{3,4} = -\beta \pm in. \quad (7)$$

Решением однородного уравнения (6) будет

$$\theta_1 = e^{-\alpha t} (C_1 \cos kt + C_2 \sin kt) + e^{-\beta t} (C_3 \cos nt + C_4 \sin nt). \quad (8)$$

Начальными условиями для режима стопорения механической системы будут:

$$\theta_1 \Big|_{t=0} = 0; \dot{\theta}_1 \Big|_{t=0} = \dot{\varphi}_{20}; \ddot{\theta}_1 \Big|_{t=0} = 0; \ddot{\theta}_1 \Big|_{t=0} = 0 \quad (9)$$

Вычисляя соответствующие производные и подставляя начальные условия, получим выражения для нахождения постоянных $C_1 \dots C_4$ [1]:

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{2\dot{\varphi}_{20}[(\alpha n^2 - \beta k^2) + 3\alpha\beta(\alpha - \beta)]}{[(k^2 - n^2)^2 + 2(k^2 + n^2)(\beta - \alpha)^2 + (\beta - \alpha)^4]}; \\ C_2 &= \frac{\dot{\varphi}_{20}[(n^2 + \beta^2)^2 + n^2(\alpha^2 - k^2) - 3\beta(\alpha^2 + k^2) + 2\alpha\beta(\alpha^2 - 3k^2)]}{k[(k^2 - n^2)^2 + 2(k^2 + n^2)(\beta - \alpha)^2 + (\beta - \alpha)^4]}; \\ C_3 &= \frac{2\dot{\varphi}_{20}[(\beta k^2 - \alpha n^2) - 3\alpha\beta(\alpha - \beta)]}{[(k^2 - n^2)^2 + 2(k^2 + n^2)(\beta - \alpha)^2 + (\beta - \alpha)^4]}; \\ C_4 &= \frac{\dot{\varphi}_{20}[2\alpha\beta(\beta^2 - 3n^2) + k^2(\beta^2 - n^2) - 3\alpha^2(\beta^2 - n^2) + (\alpha^2 + k^2)^2]}{n[(k^2 - n^2)^2 + 2(k^2 + n^2)(\beta - \alpha)^2 + (\beta - \alpha)^4]}. \quad (10) \end{aligned}$$

В качестве примера рассмотрим изменение динамического момента в упругой связи привода в зависимости от угловой скорости перед началом стопорения валочно-пакетирующей машины при использовании конкретных численных данных.

Исходные данные: $L = 8$ м; $\dot{\varphi}_2^0 = 0,7$ с⁻¹; $i_{II} = 2243$; $I_1 = 4,05$ кг·м²; $I_2 = 0,065$ кг·м²; $\beta_{12} = 0,34$ Н·м·с; $C_{12} = 37611$ Н·м; $C_0 = 59,63$ Н·м; $M_d = M_{cm} = 367,81$ Н·м.

1. Определяем коэффициенты дифференциального уравнения:

$$A = 5,31 \text{ с}^{-1}; B = 6796,55 \text{ 1/с}^2; C = 77,015 \text{ 1/с}^3; D = 85194,45 \text{ 1/с}^4.$$

2. Находим частоты колебаний и коэффициенты затухания колебаний [4]:

$$\alpha = -\frac{A}{2A_0} = -\frac{5,31}{2 \cdot 1} = -2,655 \text{ с}^{-1}; \beta = -\frac{C}{2B} = -\frac{77,015}{2 \cdot 6796,55} = -0,0057 \text{ с}^{-1};$$

$$k = \frac{1}{2A_0} \cdot \sqrt{4A_0 \cdot B - A^2} = \frac{1}{2 \cdot 1} \cdot \sqrt{4 \cdot 1 \cdot 6796,55 - 5,31^2} = 82,398 \text{ с}^{-1};$$

$$n = \frac{1}{2B} \cdot \sqrt{4BD - C^2} = \frac{1}{2 \cdot 6796,55} \cdot \sqrt{4 \cdot 6796,55 \cdot 85194,45 - 77,015^2} = 3,54 \text{ с}^{-1}.$$

3. Вычисляем постоянные интегрирования, приняв $\dot{\varphi}_{20} = 0,025$ с⁻¹

$$C_1 = 0,0000081 \text{ рад}; C_2 = -0,000126 \text{ рад}; C_3 = -0,0000081 \text{ рад}; C_4 = 1,5835 \text{ рад}.$$

4. Находим амплитуды колебаний и динамическую нагрузку.

$$a_B = \sqrt{C_1^2 + C_2^2} = \sqrt{0,0000081^2 + (-0,000126)^2} \cong 0,000126 \text{ рад};$$

$$a_H = \sqrt{C_3^2 + C_4^2} = \sqrt{(-0,0000081)^2 + 1,5835^2} \cong 1,5835 \text{ рад};$$

Так как отношение $k/n > 10$, то

$$M_{дин}^{доб} = C_{12}(a_B + a_H) = 376,11 \cdot (0,000126 + 1,5835) = 595,62 \text{ Н·м};$$

$$K_D = \frac{M_{дин}^{доб}}{M_{ст}} + 1 = \frac{595,62}{367,81} + 1 = 2,62.$$

На рис. 2 приведены графики зависимости добавочного динамического момента в упругой связи привода C_{12} в зависимости от угловой скорости перед началом стопорения.

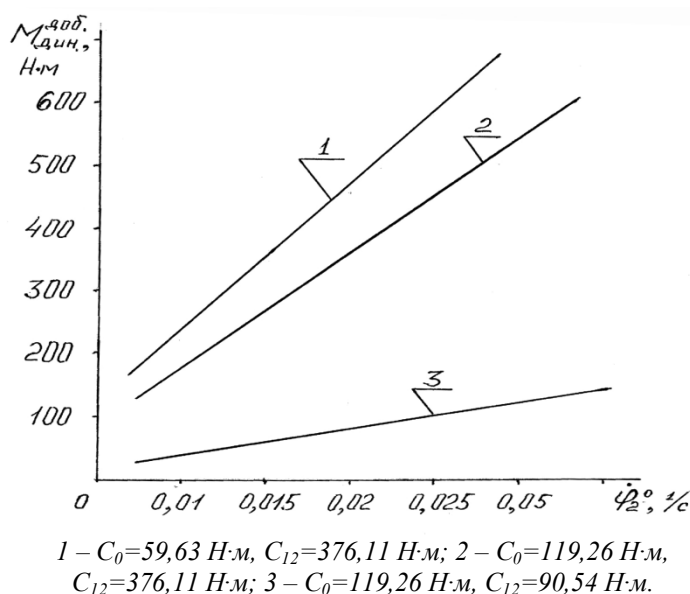


Рис. 2. Графики изменения добавочного динамического момента в упругой связи « C_{12} » в зависимости от угловой скорости перед началом стопорения

Выводы. В результате анализа математической модели работы валочно-пакетирующей машины в режиме переориентирования ходовой системы в условиях разбора завалов леса составлена и решена система дифференциальных уравнений Лагранжа II рода.

В результате подстановки конкретных численных значений параметров работы валочно-пакетирующей машины установлен высокий уровень динамической нагрузки на силовую установку, который в зависимости от угловой скорости перед стопорением и жесткости упругих связей находится в диапазоне от 20,5 до 600 и более Н·м.

Выявлено, что нагрузки свыше 300 Н·м приводят к снижению частоты вращения коленчатого вала силовой установки ниже предельно допускаемого уровня вплоть до полной остановки двигателя.

Список литературы

1. Александров, В. А. Основы проектирования лесозаготовительных машин и оборудования: учебное пособие / В. А. Александров, Н. Р. Шоль, Я. И. Шестаков, И. Н. Багаутдинов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. – 348 с.
2. Александров, В. А. Моделирование технологических процессов лесных машин / В. А. Александров. – М.: Экология, 1995. – 256 с.

3. Проектирование системы ручного управления космических кораблей / Под ред. В. А. Климова. – М.: Машиностроение, 1978. – 141 с.

Статья поступила в редакцию 31.08.10.

V. A. Alexandrov, O. N. Burmistrova, N. R. Sholl

FELLING-BUNCHING MACHINE POWER PLANT LOADING IN THE MODE OF RUNNING GEAR REORIENTATION

Dynamics of transient of power plant in the running system reorientation in the regime of plugging of a felling-and-bunching machine(FBM), while wood blockage unstacking, is researched. On the basis of solution of Langrange equation, dependence of the moment of drive spring linkage on the angular velocity before plugging of the machine is obtained. Parameters numerical values substitution showed the growth of dynamic moment in spring linkage of a drive in the range from 20,5 to more than 600 N·m, in relation to angular velocity towards plugging and spring linkage rigidity. The loads exceeding 300 N·m result in crankshaft rotation frequency reduction of the power plant below maximum allowed level up to full engine stoppage.

Key words: *mathematical model, wood blockage unstacking, power plant loading, running gear displacement, hung-out body.*

АЛЕКСАНДРОВ Валентин Александрович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой проектирования специальных лесных машин Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии. Область научных интересов – теория и конструкция машин и оборудования отрасли. Автор 146 публикаций, в т. ч – 94 научных, 32 – авторские свидетельства и патенты.

E-mail: 2944218@mail.ru

БУРМИСТРОВА Ольга Николаевна – доктор технических наук, доцент, заведующая кафедрой технологии и машины лесозаготовок и прикладной геодезии Ухтинского государственного технического университета. Область научных интересов – технология и машины лесозаготовок, строительство лесных дорог. Автор 180 публикаций, в т. ч – 145 научных, 3 – авторские свидетельства и патенты.

E-mail: Oburmistrova@ugtu.net

ШОЛЬ Николай Рихардович – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой лесных, деревообрабатывающих машин и материаловедения Ухтинского государственного технического университета. Область научных интересов – теория и конструкция машин и оборудования отрасли. Автор 159 публикаций, в т. ч – 125 научных, 4 – авторские свидетельства и патенты.

E-mail: Nshol@ugtu.net

УДК 674-4

М. В. Боярский, О. Г. Тарасова

АНАЛИЗ ВИДОВ ПОКОРОБЛЕННОСТЕЙ И СПОСОБОВ ИХ ИЗМЕРЕНИЯ

Рассмотрены источники причин коробления, такие, как природные свойства древесины и технические погрешности формообразования пиломатериалов при их производстве. Предложен новый способ измерения крыловатости как частный случай выявления покоробленностей, дополняющий возможности оперативного контроля качества пиломатериалов и оценки технического состояния лесопильных рам, позволяя: дифференцированно оценивать крыловатость и углы взаимного поворота для любой пары контрольных сечений по длине пиломатериала; интенсивность углов поворота бревна для любой пары контрольных сечений и соотносить их положение с условиями базирования бревна в момент образования пропила; упростить технические средства и процесс измерения крыловатости.

Ключевые слова: коробление, крыловатость, покоробленность, пороки строения, способы измерения, технические погрешности формообразования.

Введение. В настоящее время оценка покоробленностей в производственных условиях ведется, главным образом, визуально и преследует две цели:

1) сортировка продукции на соответствующую и несоответствующую с отделением досок, имеющих крыловатость и кривизну;

2) выявление возможных технических причин появления покоробленности (диагностирование технического состояния лесопильных рам и околорамного оборудования), что особенно важно для повышения стабильности и качества работы оборудования.

По данным различных исследователей (П. И. Лапина, Е. И. Захаровой, В. И. Лашманова и Е. Ф. Пластова, И. К. Кучерова [1–4] и др.), доля пиломатериалов с кривизной и крыловатостью в составе технического брака составляет по степени встречаемости до 35 % от числа выявленных дефектов на пиломатериалах.

Остановливаясь подробнее на появлении продольной покоробленности и крыловатости, необходимо отметить, что технические причины их возникновения весьма многообразны: от качества подготовки и установки пил в постав до укладки рельсовых путей. В общей сложности определено около 24 причин для крыловатости и 27 – продольной покоробленности [1–4].

Виды и способы измерения величины покоробленности пиломатериалов установлены в следующих нормативных документах: ГОСТ 2140–81 [5] и ГОСТ 10294–90 [6]. *Противоречивость* стандартов в том, что в данных документах используются *разные термины для определения одних и тех же величин* с применением различных средств измерения и контроля, которые не всегда являются эффективными.

Цель работы – предложить новый, более удобный, способ дифференцированной оценки крыловатости и углов взаимного поворота пиломатериала, связанный с услови-

ями базирования бревна в момент образования пропила для любой пары контрольных сечений, с более простыми техническими средствами и процессом измерений.

Решаемые задачи:

- 1) анализ терминов, применяемых в нормативной документации для оценки качества пилопродукции (в частности, покوروبленности);
- 2) анализ проверок, представленных в нормативной и технической литературе с выявлением недостатков предлагаемых способов и предложением путей их устранения;
- 3) выделение видов возможных источников появления крыловатости, имеющих как *природный*, так и *технический* характер;
- 4) выделение *технической крыловатости* на отдельных участках пиломатериалов на основе предлагаемого метода измерения *местной крыловатости*, т.к. стандартные методы измерения стрелы прогиба (СП) и крыловатости дают лишь общие оценки по всей базовой длине пиломатериалов.

В ГОСТ 2140–81 [5] представлена классификация пороков древесины на группы, одна из которых – покوروبленность. Указаны виды покوروبленности: простая и сложная; продольная (по пласти и кромке) и поперечная; крыловатость. Приводятся схемы измерения величины, характеризующей покوروبленность – стрелы прогиба a :

- продольную по пласти и кромке и поперечную по пласти покوروبленности пиломатериалов измеряют по величине a_1 , a_2 , a_3 (рис. 1, a , $б$, $в$);
- сложную покوروبленность – по величине стрелы прогиба наибольшего из составляющих ее искривлений.

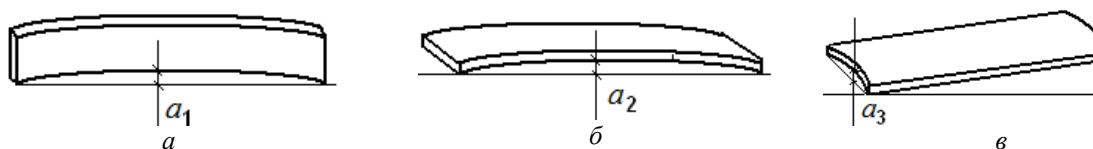


Рис. 1. Виды покوروبленностей и схемы измерения стрел прогиба a по ГОСТ 2140–81:

a – продольная по кромке – a_1 ; $б$ – продольная по пласти – a_2 ;

$в$ – поперечная по пласти – a_3

Анализ схем ГОСТ 2140–81 позволил установить, что старому понятию *крыловатости* соответствует спиральная покوروبленность пиломатериала, а величина измеряется по наибольшему отклонению поверхности сортимента от плоскости, со схемой проверки рис.2, причем здесь крыловатость рассматривается как *следствие коробления* без упоминания технических погрешностей выпиливания, что вполне достаточно для *отделения* брака, но не достаточно для его *исправления* или предупреждения.

Недостатком проверок по ГОСТ 2140–81, представленных на рис. 1, 2, является отсутствие в данном нормативном документе методики проведения измерений покوروبленности с указанием применяемых средств измерения стрелы прогиба a .

ГОСТ 10294–90 [6] предусматривает проверку лесопильной рамы в работе при распиливании бревен длиной 3 м и диаметром не менее 200 мм на обрезные доски толщиной 40 мм с последующим контролем размеров и формы пиломатериалов. Одним из показателей, характеризующих качество пилопродукции, является покوروبленность, указанная в ГОСТ 10294–90 как плоскостность по пласти в продольном, поперечном и диагональном направлениях и прямолинейность по кромке. Стандарт предусматривает способы проверки при помощи шупа и поверочной линейки длиной 2,2 м, уложенной на расстоянии 400 мм от торцов доски (рис. 3, a).

Недостатками данных проверок являются:

1) ограниченная длина бревен и метрологической базы (применение поверочной линейки в 2,2 м при проверке плоскостности и прямолинейности не дает достаточной информации о погрешностях обработки при распиловке пиловочника длиной 6–6,5 м);

2) на чертеже 8а [6] указана схема проверки плоскостности – крыловатости, однако данная схема измерения не соответствует схеме ГОСТ 2140–81 (рис. 2);

3) под достаточно большим весом поверочной линейки при измерении продольной кривизны и крыловатости возможно деформирование пиломатериалов при укладке поверочной линейки на исследуемую пласт;

4) трудоемкость измерения отклонений при помощи щупов;

5) высокая стоимость поверочной линейки;

6) не учтена квадратичная зависимость стрелы прогиба от длины метрологической базы [7].

В разделе 3 «Проверка лесопильных рам в работе» [6] о крыловатости (спиральной покоробленности по ГОСТ 2140–81) говорится как о *погрешности обработки* – «плоскостности в диагональном направлении», т.е. здесь крыловатость рассматривается *целиком как техническая погрешность распиловки* без упоминания о возможности *собственного* коробления выпиленных досок, которое может существенно превышать технические погрешности, направляя поиск причин по ложному пути.

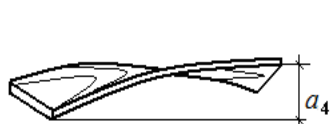


Рис. 2. Схема измерения покоробленности по ГОСТ 2140–81

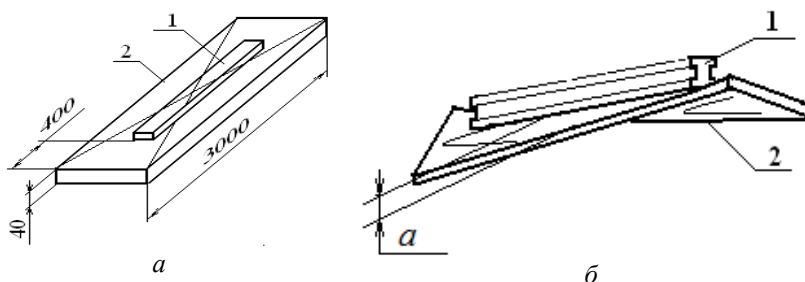


Рис. 3. Схема проверки плоскостности пиломатериалов по ГОСТ 10294–90:
а – схема из НД; б – реальная схема измерений
1 – поверочная линейка, 2 – пиломатериал

Такая нестыковка в терминологии, толковании и схемах измерения крыловатости существенно затрудняет понимание сущности рассматриваемой проблемы и ее решение, т.е. выявляемая на пиломатериалах кривизна является суммой технических погрешностей распиловки и собственных деформаций пиломатериалов [8].

Помимо сделанного выше замечания о двойственном характере крыловатости, по п. 3.3, 3.4 [6] имеются и другие:

1) на схеме рис. 3, а дано неправильное положение поверочной линейки (рабочее положение линейки должно быть на «ребро» (рис. 3, б), а не плашмя);

2) величина допуска для стрелы прогиба (2 мм на длине 1000 мм) представляется слишком завышенной при её сравнении с технологическим припуском на обработку брусковых заготовок (~2,5 мм на одну сторону). Это видно из схемы на рис. 4, показывающей соотношение между стрелой прогиба и припуском на обработку (вид с торца заготовки).

Из схемы видно, что СП по [6] вдвое меньше минимального припуска, необходимого для выравнивания крыловатой поверхности при симметричном базировании заготовки, и вчетверо меньше типичного припуска, соответствующего обычному способу базирования заготовки на фуговальном станке с надежной опорой на стол заднего торца и одной из кромок заготовки:

$$K = 2\Delta_{\min} = 4a. \quad (1)$$

(Этому типичному припуску соответствует схема измерения крыловатости по ГОСТ 2140–81, предусматривающая базирование заготовки на поверочной плите с плотным прижимом к ней одного из торцов и одной из кромок заготовки.)



Рис. 4. Совмещенная схема измерения K и a :

a – схема измерения по ГОСТ 2140–81; b – схема для расчета a и K ;

a – стрела прогиба по ГОСТ 10294–90,

$\Delta_{\min}$ – минимальный припуск на обработку каждой поверхности при симметричном базировании заготовки,

K – крыловатость заготовки (по ГОСТ 2140–81)

Таким образом, стрела прогиба в 2 мм, допускаемая по ГОСТ 10294–90, потребует удаления с каждой поверхности заготовки припуска в 8 мм, т.е. «узаконивает» грубый технический брак по крыловатости пиломатериала в качестве допускаемого. А для того, чтобы «вписаться» в обычный припуск 2,5 мм на сторону, следовало бы отграничить СП от K (по диагоналям пиломатериала) величиной $\sim 0,6$ мм на длине 1000 мм;

3) предыдущее замечание можно дополнить ещё одним: при измерении СП с помощью тяжелой поверочной линейки измеренная величина СП получится заниженной вследствие смятия поверхностей пропила в точках контакта с линейкой под действием её собственного веса. Такое занижение измеряемой СП дополнительно способствует пропуску грубого технического брака по крыловатости в качестве допускаемого.

Метод измерения крыловатости по [5] тоже не вполне удобен для практической оценки длинных досок (например, 3000 мм, как рекомендуется по [6] при испытаниях лесопильных рам), т.к. требует соответствующей длины поверочной плиты, на которую укладывается образец. Кроме того, длинные доски будут несколько деформироваться под действием собственного веса.

Предложения.

1. Для выделения крыловатости по техническим причинам предлагается статистический анализ крыловатости различных досок и брусьев, особенно после первого прохода. Основой для такого анализа могут послужить следующие соображения:

1.1 Очевидно, что крыловатость по техническим причинам может существенно изменяться по длине пиломатериала соответственно изменению условий базирования бревна (или бруса) в процессе его пиления. Таких участков по длине пиломатериала насчитывается, как минимум, 5:

1) базирование в клещах впередирамной тележки и передних подающих вальцах лесопильных рам (передний конец пиломатериала длиной около 0,4 м);

2) добавление к базам участка 1 задних подающих вальцов лесопильных рам (участок от 0,4 до ~ 1 м);

3) добавление к базам участков 1 и 2 ножей направляющего аппарата (основной этап наиболее качественного пиления на длине от ~ 1 до ~ 4 м);

4) освобождение заднего конца бревна от зажима в клещах тележки (за 1,5 – 2 м до конца бревна);

5) освобождение заднего конца бревна от базирования в передних подающих вальцах (остаточное базирование бревна в задних вальцах и направляющем аппарате – очень короткий участок $\sim 0,2$ м на заднем конце пиломатериала).

При этом погрешности пиления на первом и последнем этапах настолько велики, что соответствующие участки обычно не учитывают при оценке точности работы лесопильных рам (в частности, по ГОСТ 10294–90 измерение погрешностей предусматривается на расстоянии 400 мм от концов выпиленных пиломатериалов).

1.2 В то же время, наблюдаемое чередование крыловатости «по техническим причинам» по длине пиломатериала должно носить постоянный характер, а точнее – статистически однородный как по месту, так и по величине проявления крыловатости.

1.3 *K* от внутренних напряжений, в отличие от «технической», должна носить монотонный характер по длине пиломатериала – плавное «закручивание» контрольных сечений относительно продольной оси либо в одну сторону по всей длине пиломатериала, либо в разные стороны, но на больших участках длины, не связанных с условиями перебазирования бревна. Причем величина и направление крыловатости («правое» или «левое» закручивание пиломатериала) должны иметь индивидуальный характер для каждой доски. Особенно это должно проявляться для парных досок постава, расположенных симметрично в правой и левой сторонах постава, у которых деформации от внутренних напряжений (и продольные, и диагональные) должны иметь противоположное направление, но сходный характер, близкий к зеркальному отражению относительно продольной оси бревна.

1.4 Поскольку обе составляющие проявляются в единстве, причем собственное коробление пиломатериала может существенно превышать «техническую» крыловатость, целесообразно начинать анализ с выделения «собственных» деформаций путем выявления гармонических составляющих большого периода (полуволны или полной волны на всей длине пиломатериала).

1.5 Для выявления «технической» крыловатости на отдельных участках пиломатериала требуется новый метод измерения местной крыловатости, т.к. стандартные методы измерения СП и крыловатости дают лишь общие оценки по всей базовой длине пиломатериала.

2. В качестве такого метода для измерения крыловатости предлагается применить уровень, а пиломатериал укладывать на три горизонтальные опоры (рис. 5) [9]. Основной опорой служит поперечная горизонтальная опора 2 в середине пиломатериала; продольные опоры 1 и 5 выполняют вспомогательную роль поддержания концов пиломатериала, не искажая естественный поворот поперечных сечений вокруг продольной оси. Уровень 4 обеспечивает измерение наклона поверхности пиломатериала 3 в любом контрольном сечении (КС) по его длине.

Алгебраическая разность отсчетов по уровню (угол взаимного поворота КС) позволяет оценивать не только максимальную крыловатость пиломатериала (включающую и технические погрешности, и собственные деформации древесины), но и местные углы поворота поперечных сечений в мм на 1000 мм (или, переходя к угловым мерам, – в радианах), отражающие действительно технические повороты бревна вокруг оси при выпиливании бруса. Умножая разность показаний уровня (угол поворота сечений) на ширину пиломатериала, получим абсолютное значение «местной» крыловатости (для любой пары КС), соответствующее [5], а деля эту разность (угол поворота) на расстояние между контрольными сечениями, получим относительную характеристику «местной» крыловатости в виде интенсивности угла «закручивания» ϵ в радианах на единицу длины пиломатериала:

$$\varepsilon = \Delta\alpha/\Delta l, \quad (2)$$

где $\Delta\alpha$ – разность показаний уровня в КС, радиан;
 Δl – расстояние между парой КС, м

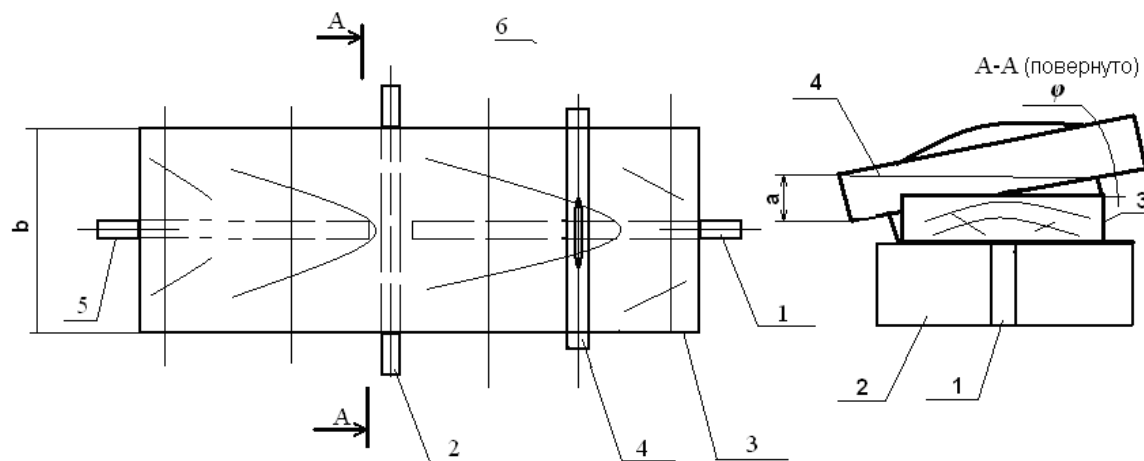


Рис. 5. Схема измерения кривоватости: 1,5 – продольные опоры;
 2 – поперечная опора; 3 – пиломатериал; 4 – уровень

Выводы. Предложенный метод измерения кривоватости при помощи уровня существенно дополнит возможности оперативного контроля качества пиломатериалов и оценки технического состояния лесопильных рам, позволяя:

- 1) дифференцированно оценивать кривоватости и углы взаимного поворота для любой пары контрольных сечений по длине пиломатериала;
- 2) оценивать интенсивность углов поворота бревна для любой пары контрольных сечений и соотнести их положение с условиями базирования бревна в момент образования пропила;
- 3) упростить технические средства и процесс измерения кривоватости;
- 4) создать возможность для проведения массовых измерений кривоватости.

Список литературы

1. Захарова, Е. И. Лесопильное оборудование и его эксплуатация / Е. И. Захарова. – М.: Гослесбумиздат, 1961. – 230 с.
2. Лапин, П. И. Виды технического брака в лесопильном производстве / П. И. Лапин. – М.: Лесная промышленность, 1970. – 45 с.
3. Лашманов, В. И. Выверка лесопильных рам / П. И. Лашманов, Е. Ф. Пластов. – М.: Лесная промышленность, 1970. – 45 с.
4. Кучеров, И. К. Ремонт лесопильных рам / И. К. Кучеров. – М.: Лесная промышленность, 1968. – 171 с.
5. ГОСТ 2140–81. Видимые пороки древесины. Классификация, термины и определения, способы измерения. Введ. 1982.01.01. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1981. – 45 с.
6. ГОСТ 10294 – 90. Рамы лесопильные вертикальные двухэтажные. Основные параметры. Нормы точности. – Введ. 1990-01-03. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1990. – 8 с.
7. Боярский, М. В. Анализ стандартных норм допускаемой покособленности при распиловке на вертикальных лесопильных рамах / М. В. Боярский, О. Г. Тарасова // Материалы 7-го Всероссийского совещания-семинара «Инженерно-физические проблемы новой техники». – М., 2003. – С. 101–102.

8. Анализ способов измерения кривоватости пиломатериалов / Боярский М. В., Тарасова О. Г.; Марийский государственный технический университет. – Йошкар-Ола, 2008. – 6 с. – Деп. в ВИНТИ 28.01.2009, № 47-B2009.

9. Пат. 2365874 РФ, МПК G01B 5/28. Способ оценки отклонений от плоскостности по пласти (кривоватости) пиломатериалов / Боярский М. В., Тарасова О. Г.; Шулепова Н. А. –RU 2365874 C1; заявл. 27.03.2008; опубл. 27.08.2009; Бюл. № 24. (0,31 / 0,15).

Статья поступила в редакцию 30.06.10.

M. V. Boyarsky, O. G. Tarasova

ANALYSIS OF THE TYPES OF BUCKLE AND THE WAYS OF ITS MEASUREMENT

The sources of the reasons of buckle, such as wood natural properties and technological errors of industrial wood forming while production are considered. A new way of twist measurement as a particular case of structure defects revealing which supplements the possibility of operating control of industrial wood quality and evaluation of technical condition of log frames, allowing to evaluate differentially the twist and mutual turn angles for any pair of control section along the length of lumber; intensity of log mutual turn angles for any pair of control section and to correlate their position with the conditions of log location at the moment of saw cut formation; to simplify the technical equipment and the process of twist measurement.

Keywords: *buckle, twist, crook, structure defect, method of measurement, technological error of forming.*

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 35 публикаций.

E-mail TarasovaOG@marstu.net

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

УДК 626.882+502.2

А. В. Иванов, О. Г. Введенский, Е. Ф. Султанова

КОНСТРУКЦИИ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ РЫБОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ПРИЛИВНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Проанализирована специфика условий работы рыбопропускных сооружений для приливных электростанций по сравнению с гидротехническими сооружениями того же назначения для речных гидроузлов. Рассмотрены различные варианты модернизации действующих конструкций рыбоходов и рыбопропускных шлюзов, исходя из циклов работы приливной электростанции и особенностей поведения различных представителей морской ихтиофауны. Предложены новые конструкции и режимы работы рыбопропускных сооружений.

Ключевые слова: гидроузел, рыбоход, рыбопропускной шлюз, приливная электростанция, природоохранные мероприятия.

Введение. В процессе жизненного цикла большинство видов рыбы в той или иной мере совершают наследственно закрепленные нерестовую, нагульную и зимовальную миграции. Экологическое значение этих миграций заключается в том, что они способствуют устойчивому поддержанию ареала обитания и использованию его кормовой базы. Перекрытие миграционных путей рыбы плотинами не только оказывает негативное влияние на характер и условия естественного воспроизводства водных биологических ресурсов, но и ведет к разрушению целостности популяций, а значит и экосистем в целом, составляющих основу биосферы [1]. Приливная электростанция (ПЭС), как гидротехническое сооружение, перегораживающее водные объекты, оказывает существенное негативное влияние на жизненно важные миграции рыбы и других морских обитателей. Поэтому для обеспечения свободного прохода рыбы через створ ПЭС в её составе следует предусмотреть комплекс рыбопропускных сооружений. Кроме того, актуальность данной проблемы в настоящее время еще больше возросла в связи с тем, что существуют планы строительства крупных ПЭС в Белом и Охотском морях.

В практике отечественного и зарубежного гидростроительства для восстановления миграционных путей на реках используют, в основном, рыбоходы и рыбопропускные шлюзы [2], которые рекомендуется применять также и на ПЭС. Однако в отличие от ры-

бопропуска через речные гидроузлы пропуск рыбы через ПЭС имеет ряд специфических особенностей, не позволяющих применить известные речные сооружения без корректировки их конструкции и режимов их работы.

Во-первых, для ПЭС типичен приливно-отливной характер колебаний уровней бьефов (в море и бассейне), формирующий разнознаковые и разновеликие перепады и, следовательно, течения между ними.

Во-вторых, миграционные предпочтения морских гидробионтов, проходящих через створ ПЭС, существенно отличаются от передвижений производителей на нерест вверх по реке. Дело в том, что морские обитатели совершают здесь, преимущественно, нагульные, зимовальные и преднерестовые миграции, во время которых ведут еще морской образ жизни. В связи с этим они перемещаются в необходимом направлении, используя особенности приливно-отливного характера морских течений, т.е. могут двигаться как навстречу привлекающему течению, так и использовать его в качестве транспортного средства для перемещения на значительные расстояния с наименьшими энергетическими затратами. Поэтому разные виды рыбы предпочитают мигрировать при разных фазах приливно-отливного цикла. Так, производители проходных видов идут, преимущественно, навстречу течению, а большинство типично морских мигрантов и покатников используют попутные течения. Причем мигранты могут как входить в бассейн ПЭС из открытого моря, так и возвращаться обратно.

Целью настоящей работы является разработка конструкций и обоснование режимов работы рыбопропускных сооружений, обеспечивающих беспрепятственный проход рыбы через створ ПЭС. Для этого поставлена следующая **задача**: обеспечить пропуск мигрантов в обоих направлениях, при этом скорость течения по рыбопропускному тракту должна не выходить за рамки привлекающих рыбу величин и быть для нее преодолимой, комфортной и безопасной.

Пути решения поставленной задачи. Так как отправной точкой при разработке рыбопропускных сооружений для ПЭС все же остаются их речные аналоги, то рассмотрим возможности именно их модернизации. Так как в акватории действия ПЭС обитают различные виды рыбы с неодинаковой плавательной способностью и миграционными предпочтениями, то для обеспечения их свободного прохода через створ ПЭС целесообразно рассмотреть оба основных вида сооружений, а именно: рыбопропускных шлюзов и рыбоходов. Очевидно, что для их адаптации к условиям ПЭС необходимо, прежде всего, учесть возможность оперативно откликаться на изменение приливно-отливной гидрологической обстановки путем регулирования оптимального привлекающего рыбу скоростного режима разнонаправленных течений воды в рыбопропускном тракте. В связи с этим обеспечение пропуска морских обитателей через створ ПЭС является более сложной и многофакторной задачей, чем пропуск производителей на нерест через плотины речных гидроузлов.

Результаты исследования и их обсуждение. Наиболее ценными видами морской рыбы, заходящей в реки, впадающие в Белое и Охотское моря, а значит и мигрирующими через створы будущих российских ПЭС, являются лососевые породы рыбы. Для их пропуска через плотины речных гидроузлов, собственно, и были разработаны рыбоходы. По этой причине рассмотрение вариантов конструкций рыбопропускных сооружений для ПЭС целесообразно начать именно с **одноточного рыбохода с регулируемым скоростным режимом**. Он включает рыбопропускной тракт, в котором маршевые камеры расположены под углом к продольной оси и со смещением относительно друг друга (рис. 1) [3]. Такое расположение камер позволяет в каждой из них устроить дополнительное вливное отверстие, напрямую выходящее в нижний бьеф. Эти отверстия перекрываются маневровыми затворами, а их входные пороги расположены на

отметках, превышающих отметки входных порогов, соответствующих им основным вливающим отверстиям.

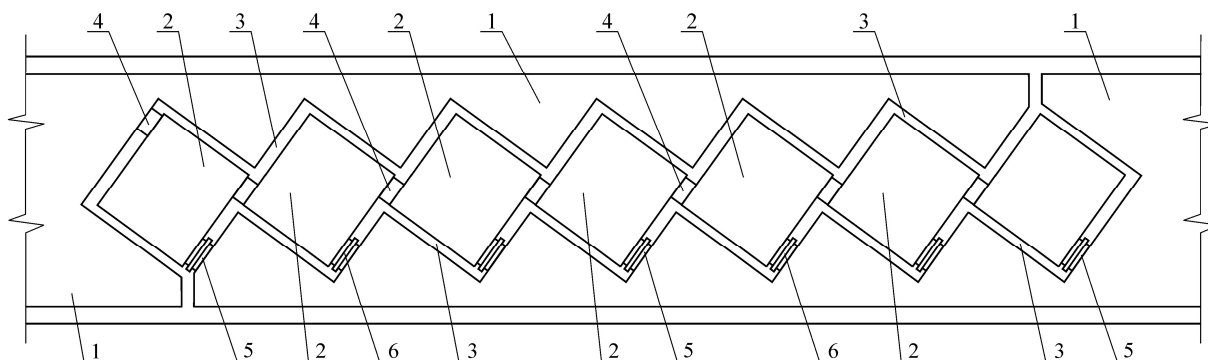


Рис. 1. Однониточный рыбоход с регулируемым скоростным режимом на виде в плане: 1 – рыбоходный тракт; 2 – смежные рабочие камеры; 3 – перегородки; 4 – основные вливные отверстия; 5 – дополнительные вливные отверстия; 6 – рабочие затворы

Рыбоход рассчитан, главным образом, на пропуск нерестовых мигрантов во время отлива в одном направлении, в бассейн из моря, при значительных колебаниях уровня воды в море. Так, при наибольшем на гидроузле перепаде, характерном для самого низкого уровня моря, все дополнительные окна перекрыты затворами, и вода протекает по всей длине рыбоходного тракта. При подъеме уровня воды в море перепад между бьефами, а вместе с ним и скорость течения по рыбоходу снижаются. Для восстановления оптимального скоростного режима необходимо сократить число перепадов. С этой целью открывают дополнительное вливное отверстие, сокращая тем самым рабочую длину рыбохода. По мере подъема уровня в море и выравнивания уровней бьефов продолжают последовательно открывать следующие затворы дополнительных отверстий, закрывая при этом предыдущие (рис. 2). Это позволяет постоянно поддерживать на рабочем участке рыбоходного тракта скорость течения, оптимальную для движения по нему мигрантов.

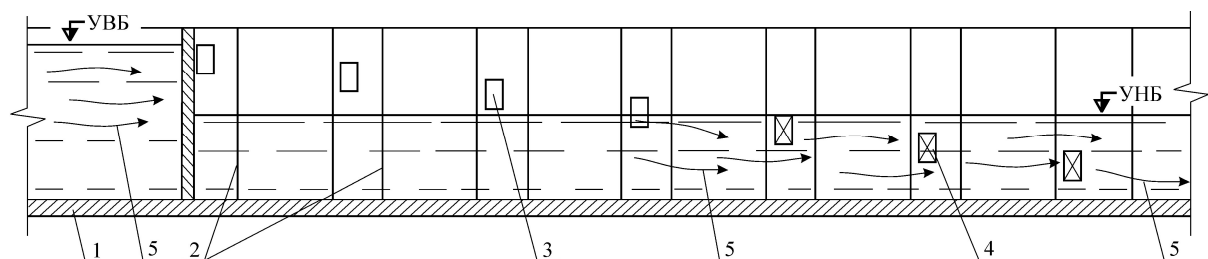


Рис. 2. Однониточный рыбоход с регулируемым скоростным режимом на разрезе вертикальной плоскостью, проходящей вне смежных рабочих камер: 1 – рыбоходный тракт; 2 – смежные рабочие камеры; 3 – дополнительные вливные отверстия с открытыми затворами; 4 – дополнительные вливные отверстия с закрытыми затворами; 5 – направление привлекающего рыбу транзитного течения

Отличительная особенность расчета скорости течения транзитного потока в рыбоходе подобной конструкции состоит в том, что поток воды в нем движется по горизонтальному рыбоходному тракту через смежные рабочие камеры, основные и дополнительное вливные отверстия. При этом гашение его избыточной энергии происходит частями – в пределах каждой задействованной рабочей камеры. Число рабочих камер N напрямую зависит от величины максимального напора приходящегося на плотину ПЭС H_{max} , перепада на основных Δz и дополнительных Δh вливных отверстиях:

$$N = \frac{H_{max} - \Delta z}{\Delta h}, \quad (1)$$

где N – необходимое число рабочих камер рыбохода; H_{max} – величина максимального напора, приходящегося на плотину ПЭС, м; Δz – значение перепада на основных вливных отверстиях, м; Δh – значение перепада на дополнительном вливном отверстии, м.

Для определения основных гидравлических характеристик рыбохода была создана математическая модель его работы, которая основывается на принципе неразрывности транзитного потока воды по всей длине рыбоходного тракта. Расчет основных и дополнительных вливных отверстий строится на допущении, при котором вливное отверстие рассматривается как подтопленный водослив с тонкой стенкой и боковым сжатием струи [4]. В этом случае основными расчетными формулами будут являться следующие:

для определения необходимой ширины вливного отверстия

$$b = \frac{Q}{m_0 \sigma_{II} \sqrt{2gH}^{3/2}}, \quad (2)$$

для определения коэффициента расхода, учитывающего влияние скорости подхода,

$$m_0 = 0,468 - \frac{0,018P}{H}, \quad (3)$$

для определения коэффициента подтопления вливного отверстия

$$\sigma_{II} = 1,127 \left(\frac{\Delta z}{P} \right)^{0,35}, \quad (4)$$

для определения скорости привлекающего транзитного потока во вливном отверстии

$$V_{ПРИВЛЕК} = \frac{Q}{bh_H}, \quad (5)$$

где Q – величина транзитного расхода воды через рыбопропускное сооружение, устанавливаемая при проектировании гидроузла, м³/с; g – ускорение свободного падения, м/с²; H – напор на гребне водослива, м; Δz – перепад уровней на водосливе, м; P – высота гребня водослива, м; h_H – глубина за вливным отверстием со стороны нижнего бьефа, м.

В рыбоходе подобной конструкции можно обеспечить оптимальные условия пропуска в верхний бьеф гидроузла только для одного какого-либо проходного вида рыбы. В связи с данными обстоятельствами следует рассмотреть конструкцию и режим работы **двухниточного рыбохода с регулируемым скоростным режимом**.

Двухниточный рыбоход включает в себя рыбопропускной тракт, разделенный на разновеликие маршевые камеры поперечными стенками, в каждой из которых устроено по два вливных отверстия, перекрываемых регулирующими затворами (рис. 3) [5]. К одному из рядов отверстий примыкают группы регулирующих камер, количество которых в каждой маршевой камере различно и определяется по зависимости:

$$N = K \times 2^{n-1}, \quad (6)$$

где n – порядковый номер маршевой камеры в направлении моря; K – коэффициент пропорциональности, принимается равным целому числу.

В условиях плавно меняющегося уровневого режима на ПЭС и широком размерновидовом спектре мигрантов через ее створ коэффициент K минимален и принимается

равным 1 или 2. Расчет основных гидравлических параметров рыбохода осуществляется, как и в предыдущем случае, с использованием математических выражений (2) – (5).

Рыбоход работает следующим образом. При существующем в данный момент перепаде уровней бьефов на гидроузле он настраивается таким образом, чтобы вода перетекала через вливные отверстия со скоростями, оптимальными для движения проходящей по нему рыбы. Для этого, маневрируя затворами, транзитному потоку определяют такой маршрут течения, при котором перепад на гидроузле разбивается на каскад локальных преодолимых мигрантами перепадов, т.е. искусственно создается лестничный рыбоход с необходимым числом маршевых камер. При изменении уровней бьефов и перепада между ними, маневрируя затворами, вновь подбирают оптимальный для мигрантов маршрут их движения, при котором новый перепад разбивается на новое число локальных преодолимых мигрантами перепадов. Таким образом, формируют новые оптимальные условия для прохода рыбы через створ ПЭС.

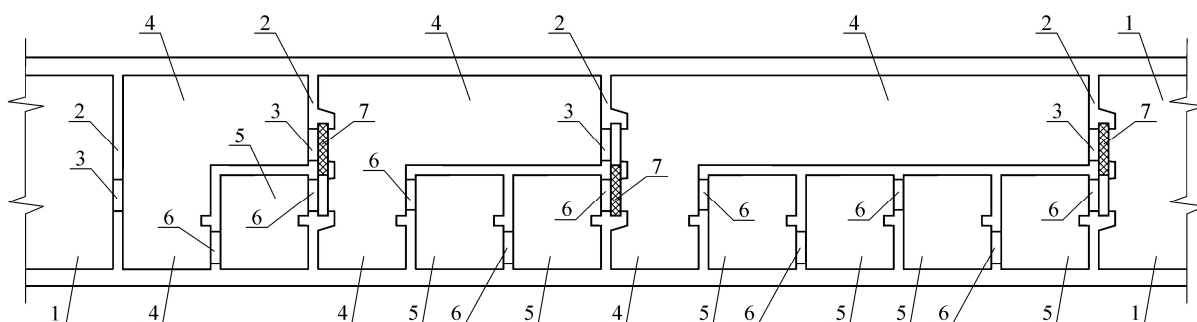


Рис. 3. Двухниточный рыбоход с регулируемым скоростным режимом на виде в плане: 1 – рыбоходный тракт; 2 – поперечные стенки; 3 – вливные отверстия; 4 – разновеликие рабочие камеры; 5 – регулирующие камеры; 6 – вливные отверстия регулирующих камер; 7 – рабочие затворы

Как уже отмечалось выше, рыбоходы разработаны для пропуска, в основном, лососевых видов рыбы. Для расширения видового диапазона пропускаемых мигрантов рыбы целесообразно осуществить **модернизацию рыбопропускного шлюза**.

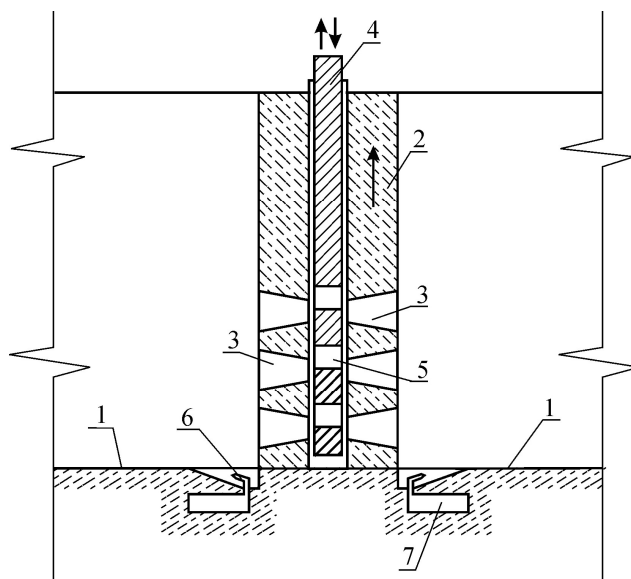


Рис. 4. Схема механического рыбопропускного шлюза ПЭС на разрезе: 1 – рыбоходный тракт; 2 – рабочий затвор; 3 – клинкет; 4 – регулирующая шторка; 5 – водопропускные отверстия регулирующей шторки; 6 – струеобразующие насадки потокообразующего устройства; 7 – напорные коллекторы

Рыбопропускной шлюз для речного гидроузла состоит из рыбопропускного тракта, разделенного двумя рабочими затворами на рыбонакопитель, шлюзовую камеру и выходной лоток [2]. Рабочие затворы выполнены с возможностью пропуска и регулирования транзитного привлекающего рыбу течения. Так как в отличие от речных гидроузлов приливно-отливный режим работы ПЭС характеризуется периодическим сравнением уровней воды в бьефах (море и бассейне), то данное обстоятельство позволяет временно отказаться от шлюзования и организовать самостоятельный проход рыбы. В связи с этим целесообразно рассмотреть вопрос об упрощении конструкции шлюза для ПЭС путем отказа от шлюзовой камеры, т.е. от одного из рабочих затворов.

В этом случае шлюз будет состоять из рыбопропускного тракта, разделенного одним рабочим затвором. Поскольку в рыбопропускном тракте необходимо создать условия для прохода рыбы в обоих направлениях, то целесообразно выполнить шлюз симметричным, т.е. расположить рабочий затвор посередине рыбоходного тракта (рис. 4).

Учитывая, что при сравнении уровней бьефов скоростной режим транзитного течения снизится до непривлекающих рыбу значений, то рабочий затвор целесообразно дооборудовать потокообразующим устройством, обеспечивающим в рыбопропускном тракте течение воды с привлекающими рыбу скоростями. Как показывают исследования для создания привлекающего рыбу потока, в коридоре 7÷8 м целесообразно использовать потокообразующее устройство со следующими параметрами: начальная скорость истечения струй $V_0 \leq 10 \text{ м/с}$; диаметр отверстия струеобразующих насадок $d_0 = 10 \div 25 \text{ мм}$; количество насадок $n = 4 \div 6$; расстояние между насадками $b_3 = 0,3 \div 0,6 \text{ м}$ [6]. Используя график, представленный на рис. 5, по выбранным ранее значениям V_0 и d_0 можно установить скорость привлекающего потока $V_{\text{ПРИВЛЕК}}$ на определенном удалении l от выходных отверстий потокообразующего устройства.

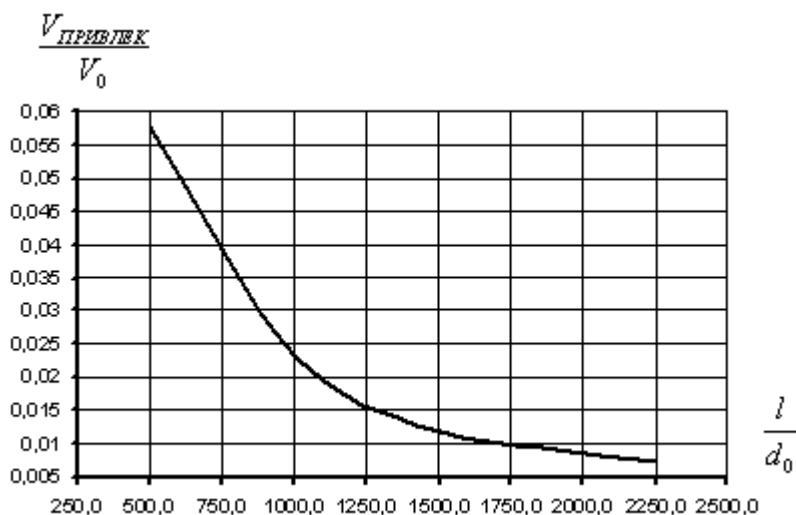


Рис. 5. Графическая зависимость изменения относительной скорости по длине привлекающего потока $\frac{V_{\text{ПРИВЛЕК}}}{V_0} = f\left(\frac{l}{d_0}\right)$

Начальную скорость истечения гидравлических струй V_0 определяют по формуле

$$V_0 = \mu \sqrt{2gH_H}, \quad (7)$$

а необходимый диаметр насадка d_0 при выбранном их количестве n находят, учитывая производительность насосной установки Q_{HY} потокообразующего устройства, из следующего выражения:

$$d_0 = 2 \sqrt{\frac{Q_{HY}}{n\mu\pi(2gH_H)^{1/2}}}, \quad (8)$$

где $\mu = 0,75 \div 0,9$ – коэффициент расхода струеобразующего насадка; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; H_H – напор у насадка, м ; Q_{HY} – производительность насосной установки потокообразующего устройства, $\text{м}^3/\text{с}$; n – количество струеобразующих насадок.

Гидравлический расчет клинкетов плоского затвора выполняется методом последовательных приближений. Задаваясь рядом относительных открытий клинкетного отверстия $a/a_{\max}$, определяют значения привлекающих расходов $Q_{\text{ПРИВЛЕК}}$ по следующей формуле:

$$Q_{\text{ПРИВЛЕК}} = \mu_{\text{КЛ}} ab \sqrt{2gH}, \quad (9)$$

где $\mu_{\text{КЛ}}$ – безразмерный коэффициент расхода подтопленного клинкетного отверстия; a – величина (высота) открытия клинкетного отверстия, м ; b – ширина клинкетного отверстия, м ; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; H – величина напора на затвор со стороны верхнего бьефа, м . При работе нескольких клинкетов их расходы суммируются по каждому ряду. Величину коэффициента расхода подтопленного клинкетного отверстия $\mu_{\text{КЛ}}$ в зависимости от величины относительного открытия клинкета можно определить из представленного на рис. 6 графика, полученного на лабораторной модели.

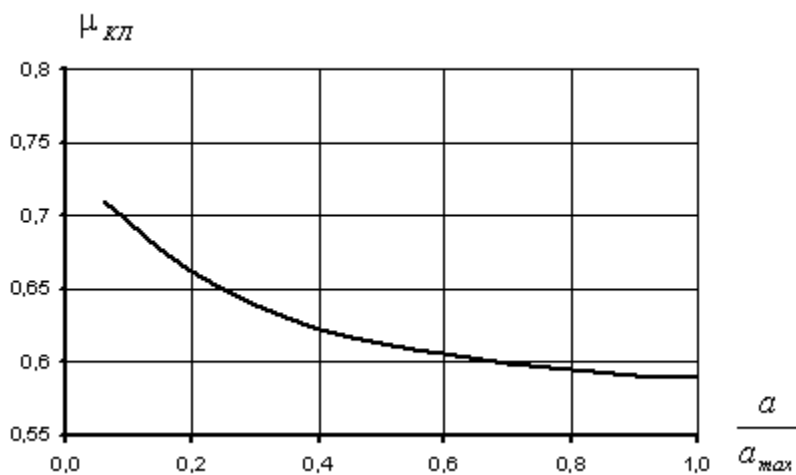


Рис. 6. График изменения коэффициента расхода клинкетного отверстия $\mu_{\text{КЛ}}$ в зависимости от его относительного открытия $a/a_{\max}$

Пожалуй, основным недостатком конструктивной и технологической схем работы рассмотренных выше вариантов рыбоходов является наличие значительного числа маневровых затворов. Конструкция модернизированного шлюза включает одновременно и рабочий затвор, и потокообразующее устройство. Для ее упрощения целесообразно

рассмотреть вопрос об упразднении механического затвора и замене его на гидравлический затвор, выполненный с использованием уже существующего потокообразующего устройства.

«Гидравлический затвор» рыбопропускного сооружения предназначен для обеспечения свободного и непрерывного прохода мигрантов через створ ПЭС по рыбоходному тракту одновременно в обоих направлениях.

Принцип работы «гидравлического затвора» основан на технологии использования гидравлических струй [7 – 9]. С их помощью создают противоток, нейтрализующий транзитное течение по рыбопропускному тракту, который оборудуют разделительной стенкой с вливным отверстием, обрамленным двумя направленными в противоположные стороны многониточными системами симметричных струеобразующих насадок (рис. 7) [10].

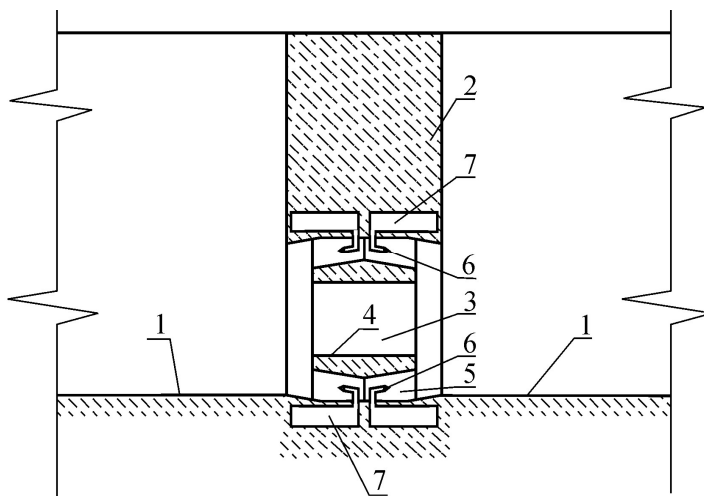


Рис. 7. Схема гидравлического затвора на разрезе: 1 – рыбоходный тракт; 2 – вертикальная поперечная разделительная стенка; 3 – вливное отверстие; 4 – потокоформирующий фартук; 5 – транзитные галереи; 6 – струеобразующие насадки; 7 – напорные коллекторы

Из струеобразующих насадок навстречу транзитному течению подают гидравлические струи, скорость которых не превышает безопасных для рыбы значений. Струи формируют противоток транзитному течению, позволяющий погасить напор на ПЭС и обеспечить тем самым свободный проход рыбы через вливное отверстие как по направлению транзитного течения, так и против течения. В зависимости от изменений величины перепада уровней между бьефами противоток транзитному течению регулируют путем включения в работу необходимого числа k ниток струеобразующих насадок.

В данном случае скорость привлекающего рыбу транзитного потока $V_{\text{ПРИВЛЕК}}$ на входе во вливное отверстие определяют из следующего выражения:

$$V_{\text{ПРИВЛЕК}} = \varphi \frac{d_0^{\frac{2}{3}} b_{\text{э}}^{\frac{1}{3}} \cdot k \cdot n \cdot V_0}{9,514(h_{\text{э}} - b_{\text{э}})}, \quad (10)$$

где φ – безразмерный коэффициент, определяемый опытным путем; d_0 – диаметр струеобразующих насадок, м; $b_{\text{э}}$ – расстояние между осями гидравлических струй, м; k – целое число, характеризующее количество задействованных ниток струеобразующих насадок; n – количество струеобразующих насадок в ряду задействованной пи-

тающей нитки; V_0 – начальная скорость истечения гидравлических струй, м/с; $h_э$ – расстояние между плоскостями распространения гидравлических струй, м.

Величина безразмерного коэффициента φ , определяемого опытным путем, зависит от множества факторов: размеров вливающего отверстия, конфигурации расположения струеобразующих насадок, наличия попутных и встречных течений и др. Как показывают эксперименты [11], значение безразмерного коэффициента φ при решении с достаточной степенью точности большинства практических задач меняется в диапазоне $0,1 \div 4,0$.

В случае снижения перепада уровней между бьежами ПЭС до значения, не позволяющего создать привлекающее течение в рыбопропускном тракте, в работу включают струеобразующие насадки, направленные попутно транзитному потоку, и этим восстанавливают привлекающий режим течений в рыбопропускном тракте. При изменении перепада между уровнями бьефов на обратный гидравлические струи, прежде формировавшие привлекающее течение, начинают создавать противоток течению в обратном направлении. Скорость привлекающего потока $V_{\text{ПРИВЛЕК}}$, как и для механического затвора, вычисляют с использованием выражений (7) и (8).

Таким образом, технология регулирования скоростного режима привлекающего течения в рыбопропускном тракте с помощью гидравлических струй позволяет при значительных приливно-отливных синусоидальных колебаниях уровней бьефов ПЭС и перепада между ними обеспечить благоприятные условия для прохода различных видов рыбы и других морских обитателей через створ ПЭС в обоих направлениях.

Однако при всех достоинствах последнего конструктивно-технологического решения оно по-прежнему подразумевает наличие эксплуатационной службы рыбохода, которая в отличие от предыдущих вариантов вместо управления затворами занимается управлением подачи гидравлических струй. В связи с этим целесообразно рассмотреть еще один вариант рыбохода, более материалоемкий, но не нуждающийся в постоянном обслуживании.

Многониточный рыбоход предназначен для обеспечения оптимальных условий прохода рыбы через створ ПЭС при меняющемся на ней уровне режиме хотя бы в одной из своих ниток.

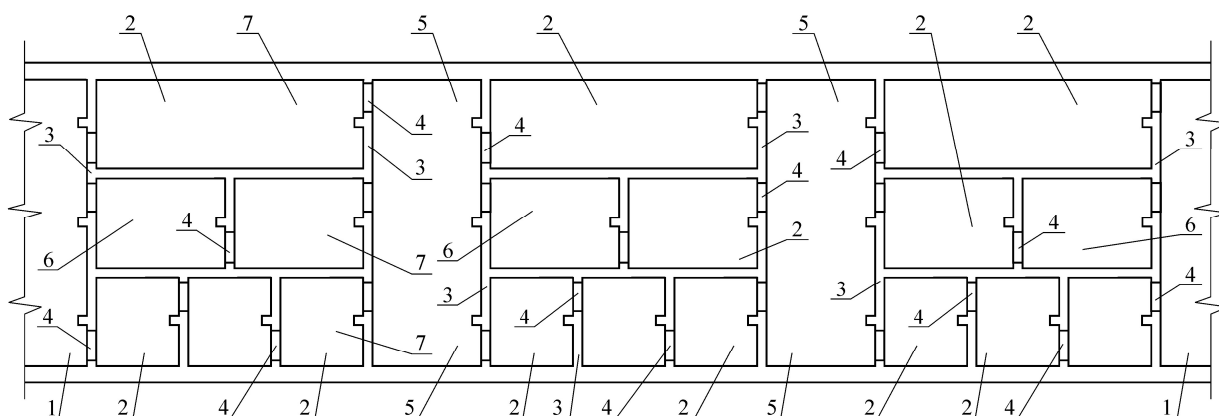


Рис. 8. Трехниточный рыбоход на виде в плане: 1 – рыбоходный тракт; 2 – камеры рыбохода; 3 – поперечные стенки; 4 – вливные отверстия; 5 – промежуточные бассейны; 6 – блоки рыбохода; 7 – нитки рыбохода

Рыбоход включает несколько смежных рыбоходных ниток, имеющих разное количество маршевых камер, объединенных в блоки. Между блоками устроены общие переходные камеры отдыха. Раздельные стенки между маршевыми камерами оборудованы впускными отверстиями и продольными стенками, а боковые стены рыбохода – отбойными козырьками. На горизонтальном дне камер рыбохода равномерно по трассе движения рыбы размещены ориентиры-укрытия (рис. 8) [12]. Исходя из условия обеспечения пропуска рыбы в обоих направлениях, нитки рыбохода целесообразно выполнить симметричными относительно оси, проходящей через створ ПЭС [13].

Гидравлический расчет многониточного рыбохода выполняют с использованием тех же методик, изложенных выше применительно для одно- и двухниточного рыбохода.

Различное количество маршевых камер в нитках рыбопропускного блока позволяет при колебаниях уровней бьефов и перепада между ними хотя бы в одной из них распределить существующий на ПЭС перепад между бьефами на каскад локальных преодолимых рыбой перепадов и, тем самым, сформировать в этой нитке оптимальный для проходящих по ней мигрантов скоростной режим течений. Данное обстоятельство позволяет рыбе, ориентируясь на наиболее благоприятную по величине скорость привлекающего течения, самой выбирать оптимальную для себя траекторию движения по рыбоходу.

Благодаря симметричности выполнения и размещения конструктивно-функциональных элементов, рыбоход одинаково эффективно работает в обоих направлениях, т.е. обеспечивает проход рыбы как из моря в бассейн, так и обратно, из бассейна в море. При этом приливно-отливные морские течения через створ ПЭС гидробионты используют либо как реоградиентный привлекающий ориентир для движения против течения, либо как транспортное средство для перемещений с наименьшими энергетическими затратами по течению.

Таким образом, выполнение многониточного рыбохода с симметрично выполненными и размещенными конструктивно-функциональными элементами позволяет с минимальными энергетическими и эксплуатационными затратами одинаково эффективно организовать проход мигрантов через створ ПЭС в обоих направлениях в соответствии с их в данный момент предпочтениями.

Заключение. Рассмотренные конструктивно-технологические варианты адаптации речных рыбопропускных сооружений к условиям ПЭС позволяют наметить дальнейшие пути проведения мероприятий по обеспечению биологической проницаемости морских гидроузлов ПЭС. Все рассмотренные выше варианты рыбопропускных сооружений имеют практическую применимость. Выбор того или иного варианта рыбопропускного сооружения зависит от очень многих факторов, главные из которых следующие: видовой состав морских мигрантов, подлежащих пропуску через плотину ПЭС; гидрологические особенности узла ПЭС; график и амплитуда приливно-отливных течений; режимы работы ПЭС; нормативы на водосброс через рыбопропускное сооружение, бюджет на рыбоохранные мероприятия и др. Отечественный опыт проектирования рыбопропускных сооружений ПЭС (Мезенская и Тугурская ПЭС) говорит о целесообразности применения в составе рыбопропускных сооружений различных типов с соответствующими технологиями работы. Только в этом случае можно будет хотя бы частично восстановить миграционные пути морских обитателей в пределах их ареалов обитания.

Список литературы

1. Редкие и исчезающие животные. Рыбы: Справ. пособие/ Д. С. Павлов, К. А. Савваитова, Л. И. Соколов и др. – М.: Высшая школа, 1994. – 334 с.

2. Строительные нормы и правила: Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения: СНиП 2.06.07-87: Утв. Гос.строит. ком. СССР 14.04.87: Срок введ. в действие 01.01.88. Изд. офиц. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987. – 34 с.
3. А.с. 1587122 СССР, МПК⁵ E02B 8/08. Рыбоход / Б. С. Малеванчик, А. В. Иванов (СССР). – Заявитель и патентообладатель: Всесоюзный проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект». – №4307958/23-15; Заявлено 21.09.87; Опубл. 23.08.90, Бюл. № 31. – 4 с.
4. Богомолов, А. И. Гидравлика / А. И. Богомолов, К. А. Михайлов. – М.: Стройиздат, 1965. – 632 с.
5. А.с. 1666632 СССР, МПК⁵ E02B 8/08. Рыбоход / Б. С. Малеванчик, А. В. Иванов (СССР). – Заявитель и патентообладатель: Всесоюзный проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект». – №4714965/15; Заявлено 04.07.89; Опубл. 30.07.91, Бюл. № 28. – 5 с.
6. Дмитриев, Ю. Я. Гидравлические ускорители на лесосплаве / Ю. Я. Дмитриев. – М.: Лесная промышленность, 1971. – 200 с.
7. Пат. 2341617 РФ, МПК⁸ E02B 8/08. Конструкция рыбопропускного отверстия рыбохода для привлечения и пропуска рыбы из нижнего бьефа гидроузла в верхний бьеф / О. Г. Введенский (РФ). – Заявитель и патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Марийский государственный университет». – №2007110108/03; Заявлено 19.03.2007; Опубл. 20.12.2008, Бюл. № 35. – 7 с.
8. Введенский, О. Г. Пути повышения эффективности работы рыбоходных сооружений в условиях циклического изменения уровней бьефов гидроузла / О. Г. Введенский // Вестник МарГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2010. – №1. – С. 59 – 68.
9. Введенский, О. Г. Конструкции рыбоходов с противотечением на основе экологической технологии использования гидравлических струй / О. Г. Введенский // Инженерная экология. – 2010. – №3. – С. 17 – 30.
10. Введенский, О. Г. Использование «гидравлического затвора» для обеспечения пропуска рыб через приливную электростанцию / О. Г. Введенский, А. В. Иванов // Гидротехническое строительство. – 2009. – №12. – С. 41 – 45.
11. Введенский, О. Г. Эксперименты по исследованию параллельно-струйных течений во встречном потоке тех же физических свойств / О. Г. Введенский; Марийск. гос. пед. ин-т. – М., 2004. – 38с. – Деп. в ВИНТИ 01.03.04; № 356.
12. А.с. 1557249 СССР, МПК⁵ E02B 8/08. Рыбоход / Б. С. Малеванчик, А. В. Иванов (СССР). – Заявитель и патентообладатель: Всесоюзный проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект». – №4714965/23-15; Заявлено 29.12.87; Опубл. 15.04.90, Бюл. № 14. – 4 с.
13. Пат. 84866 РФ, МПК⁸ E02B 8/08. Рыбоход ПЭС / А. В. Иванов, О. Г. Введенский, В. Г. Гаврилов, И. В. Гудков, Б. Л. Историк, Г. Л. Мажбиц, С. Н. Савченков, И. Н. Усачев, Г. Г. Филиппов, В. П. Халаджиев, Ю. Б. Шполянский (РФ). – Заявитель и патентообладатель: Общество с ограниченной ответственностью «ТРИВН». – № 2009107859/22; Заявлено 05.03.2009; Опубл. 20.07.2009, Бюл. № 20. – 3 с.

Статья поступила в редакцию 29.09.10.

A. V. Ivanov, O. G. Vvedensky, E. F. Sultanova

STRUCTURES AND CONDITIONS OF WORK OF FISH FACILITIES FOR TIDAL POWER STATIONS

The specificity of work conditions of fish facilities for tidal electric power stations in comparison with hydraulic structures of the same purpose for the river waterworks facilities is analyzed. Different versions of modernization of active fish-pass constructions and fish sluices on the basis of operation cycles of the tidal power station and peculiarities of behavior of different representatives of sea ichthyofauna are examined. New constructions and new modes of the work of fish facilities are offered.

Key words: waterworks facility, fish pass, fish sluice, tidal electric power station, nature protection measures

ИВАНОВ Александр Васильевич – доктор технических наук, профессор, инженер, главный специалист по рыбозащитным сооружениям ОАО «Институт Гидропроект». Область научных интересов – разработка и модернизация рыбозащитных и рыбопропускных сооружений. Автор более 70 публикаций, включая две монографии и 40 патентов.

E-mail: rzu01@yandex.ru

ВВЕДЕНСКИЙ Олег Германович – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики, машиноведения и технологии Марийского государственного университета. Область научных интересов – разработка технологий и создание технических устройств рыбозащиты и рыбопропуска через плотины гидроузлов. Автор 60 публикаций, включая 32 патента.

E-mail: vedo.67@mail.ru

СУЛТАНОВА Екатерина Фаритовна – магистр, инженер Центра приливной энергетики ОАО «НИИЭС». Область научных интересов – совершенствование конструкций рыбопропускных сооружений для приливных электростанций.

E-mail: katerinasf84@mail.ru

УДК 630*18 + 630*160.21 (470.343)

**Ю. П. Демаков, М. Г. Сафин, Р. И. Винокурова,
В. И. Таланцев, С. М. Швецов**

ХВОЯ КАК ИНДИКАТОР СОСТОЯНИЯ СОСНОВЫХ МОЛОДНЯКОВ НА ОЛИГОТРОФНЫХ БОЛОТАХ

Приведены данные, характеризующие пределы и закономерности изменчивости морфометрических, физиологических и химических параметров хвои сосновых молодняков на олиготрофных болотах Марийского Полесья, а также их взаимосвязь между собой и с состоянием деревьев. Установлено, что основным фактором изменчивости практически всех параметров хвои являются индивидуальные особенности деревьев. Вторым по значимости фактором является возраст хвои.

Ключевые слова: олиготрофные болота, сосна, хвоя, морфологические, физиологические и химические параметры, изменчивость.

Введение. Усиливающееся с каждым годом техногенное воздействие на биосферу обусловило необходимость ведения мониторинга за состоянием окружающей среды, в том числе и лесных биогеоценозов, оценку жизнеспособности которых чаще всего проводят по степени развития ассимиляционного аппарата деревьев, чутко реагирующего на различные внешние воздействия. Установлено, к примеру, что надежными показателями состояния деревьев сосны обыкновенной, устойчивости их к биотическим факторам и степени воздействия на них промышленных выбросов являются многие морфологические, физиологические и фитопатологические параметры хвои [1–10]. Индустриальное загрязнение среды вызывает также изменение содержания в хвое ряда химических элементов и баланса между ними [11–13].

Неотъемлемой частью лесных ландшафтов часто являются болота, на которых формируются специфичные фитоценозы, виды которых приспособлены к обитанию в крайне жестких эдафических условиях, характеризующихся высокой кислотностью грунтовых вод, недостатком в них кислорода и элементов минерального питания, повышенным содержанием железа и марганца, что отражается на параметрах состояния растений и скорости их метаболизма. Несмотря на давний интерес исследователей к этим биогеоценозам, играющим важную экологическую роль в функционировании биосферы, особенно в депонировании углерода, и огромный накопленный материал, вопросы листовой диагностики состояния обитающих здесь деревьев раскрыты довольно слабо [14, 15], что и послужило основанием для проведения исследований.

Объекты и методика. Исходный материал собран в 2008–2009 гг. в сосновых молодняках на олиготрофном болоте «Илюшкино» (кв. 34 Старожильского лесничества Республики Марий Эл) в двух различных биотопах. Первый из них представлен ослабленным загущенным разновозрастным древостоем (состав 93С7Б, густота 15,2 тыс. экз./га, Н = 4,8 м, D = 4,0 см), возникшим на гари 1972 года, второй – здоровым, условно разновозрастным (состав 95С5Б, густота 4,1 тыс. экз./га, Н = 2,1 м, D = 3,0 см), воз-

никшим на вырубке 1988 года. Образцы хвои брали в два срока (09.12.2008 и 27.02.2009 г.) с двухлетних боковых побегов у различных по биометрическим показателям деревьев сосны (табл. 1), укладывали в полиэтиленовые мешки и этикетировали. Одновременно вели ведомость учета биометрических показателей деревьев. Сразу же после возвращения из леса или же на следующий день проводили ошипывание хвои с побегов, взвешивание образцов на электронных весах с погрешностью ± 1 мг (исходная масса образцов изменялась от 9 до 30 г), измерение длины у 15 средних по размеру хвоинок. После этого образцы хвои высушивали до абсолютно сухого состояния при температуре 110°C , измельчали и сжигали в муфельной печи при температуре 450°C . Содержание химических элементов (Mg, Mn, Zn, Fe, Pb, Cu, Ni, Cd) в золе определяли по стандартной методике [16] на атомно-абсорбционном спектрометре AAnalyst 400. Для пересчета использовали формулу

$$C_{\Sigma} = C_p \times V_p \times M_3 / M_H \times M_C,$$

где C_{Σ} – содержание элемента в сухой хвое, мг/кг; C_p – содержание элемента в растворе, мг/л; V_p – объем раствора, в котором была растворена зола; 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 [17–19].

Т а б л и ц а 1

**Объем выборки и биометрические показатели
учетных деревьев на объектах исследований**

Дата учета	Биотоп	Число учетных деревьев, шт.	Размеры учетных деревьев (min – max)		Прирост верхушечного побега (min – max), см	
			Высота, м	Диаметр, см*	2007 г.	2008 г.
09.12.2008 г.	Вырубка	15	1,8 – 4,8	2,5 – 10,5	10,0 – 44,0	11,0 – 49,0
27.02.2009 г.	Вырубка	12	2,3 – 3,6	3,0 – 7,5	14,0 – 37,0	13,0 – 47,0
27.02.2009 г.	Гарь	15	1,5 – 4,1	3,2 – 8,7	4,5 – 15,0	4,0 – 16,0

Примечание: диаметр измерен у основания ствола.

Результаты исследования. Анализ полученного материала показал, что значения всех морфометрических и физиологических параметров хвои сосновых молодняков на олиготрофных болотах Марийского Полесья имеют довольно высокую изменчивость (табл. 2). Особенно высока вариабельность веса хвоинок. Меньше всего изменяется влажность и зольность хвои. Основной фактор изменчивости – индивидуальные особенности деревьев, определяющие 48,4...85,1% исходной дисперсии параметров (табл. 3). Биотопы достоверно различаются между собой только по длине и весу хвоинок (табл. 4). Возраст хвои оказывает наибольшее влияние на изменение ее влажности.

Т а б л и ц а 2

**Изменчивость морфологических и физиологических
параметров хвои сосновых молодняков**

Параметр	Значения статистик параметров						
	N	M_x	Min	Max	S_x	m_x	V, %
Длина хвоинок, мм	1095	40,0	18,0	65,0	8,0	0,24	20,1
Вес 100 пар хвоинок, г*	69	2,14	0,87	4,22	0,64	0,08	29,8
Влажность, %**	69	133,6	88,5	193,1	22,5	2,7	16,9
Зольность, %	69	2,28	1,46	3,37	0,35	0,042	15,2

Примечание: * – в абсолютно сухом состоянии; ** – по отношению к абсолютно сухому весу хвои.

Т а б л и ц а 3

**Результаты дисперсионного анализа изменчивости
параметров хвои сосновых молодняков**

Параметр	Фактор дисперсии и значения его параметров ($F_{0,05} = 4,15$)				
	Условия биотопа		Возраст хвои		Доля влияния деревьев, %
	$F_{\text{факт.}}$	Доля влияния, %	$F_{\text{факт.}}$	Доля влияния, %	
Длина хвоинок	39,95	43,8	7,16	7,8	48,4
Вес 100 пар хвоинок	17,45	26,2	4,37	6,6	67,2
Влажность	4,58	7,0	17,07	25,9	67,1
Зольность	2,55	4,9	5,15	10,0	85,1

Т а б л и ц а 4

**Морфометрические и физиологические параметры хвои
сосновых молодняков в разных биотопах**

Параметр	Значения параметров в разных биотопах и их различия					
	Гарь 1972 года		Вырубка 1988 года		Критерий Стьюдента	
	N	$M_x \pm m_x$	N	$M_x \pm m_x$	$t_{\text{факт.}}$	$t_{0,05}$
Однолетняя хвоя						
Длина хвоинок, мм	225	$35,8 \pm 0,36$	180	$42,0 \pm 1,51$	5,15	1,97
Вес 100 пар хвоинок, г*	15	$1,65 \pm 0,10$	27	$2,24 \pm 0,13$	3,64	2,02
Влажность, %**	15	$143,1 \pm 4,83$	12	$130,7 \pm 4,03$	1,97	2,06
Зольность, %	15	$2,09 \pm 0,05$	12	$2,23 \pm 0,08$	1,48	2,06
Двухлетняя хвоя						
Длина хвоинок, мм	225	$33,0 \pm 0,40$	180	$46,1 \pm 1,79$	7,14	1,97
Вес 100 пар хвоинок, г*	15	$1,86 \pm 0,09$	12	$2,68 \pm 0,19$	3,84	2,06
Влажность, %**	15	$121,2 \pm 2,40$	12	$112,2 \pm 6,52$	1,30	2,06
Зольность, %	15	$2,32 \pm 0,08$	12	$2,44 \pm 0,14$	0,74	2,06

Примечание: * – в абсолютно сухом состоянии; ** – по отношению к абсолютно сухому весу хвои.

Значительно изменяется также в хвое содержание металлов (табл. 5). Особенно высока вариабельность содержания никеля, цинка и марганца. Меньше всего изменяется содержание в хвое магния, который занимает лидирующее положение в ранговом ряду оцененных нами металлов. Какой-либо связи между содержанием металлов и коэффициентом его вариации не отмечается.

Т а б л и ц а 5

Изменчивость содержания металлов в хвое сосновых молодняков, мг/кг

Металл	Значения статистических показателей ($N = 69$)					
	M_x	Min	Max	S_x	m_x	V, %
Mg	1988,0	530,0	3091,6	555,2	66,8	27,9
Mn	277,1	85,7	846,1	141,4	17,0	51,0
Zn	56,4	30,8	169,1	22,0	2,6	56,4
Fe	37,3	18,1	68,1	11,8	1,4	31,5
Pb	2,85	1,56	9,00	0,96	0,12	33,7
Cu	2,11	0,69	5,85	0,90	0,11	42,5
Ni	1,41	0,26	5,65	0,99	0,12	70,2
Cd	0,34	0,17	0,93	0,10	0,01	30,3

Главный фактор изменчивости содержания металлов, как и морфологических параметров хвои, – индивидуальные особенности деревьев (табл. 6). Исключением из этого правила является железо, вариабельность содержания которого в основном определяется возрастом хвои, в процессе старения которой происходит накопление этого металла (табл. 7). В двухлетней хвое значительно больше и других металлов, особенно марганца и цинка, а содержание магния, наоборот, ниже, что согласуется с данными других исследователей [12, 20, 21].

Т а б л и ц а 6

Результаты дисперсионного анализа изменчивости содержания металлов в сосновой хвое

Металл	Фактор дисперсии и значения его параметров ($F_{0,05} = 4,15$)				
	условия биотопа		возраст хвои		доля влияния деревьев, %
	$F_{\text{факт.}}$	доля влияния, %	$F_{\text{факт.}}$	доля влияния, %	
Mg	0,36	0,5	20,88	29,2	70,3
Mn	2,13	4,1	6,33	12,1	83,8
Zn	9,11	12,4	19,10	26,0	66,6
Fe	0,24	0,1	117,6	71,2	28,7
Pb	7,91	12,9	8,62	14,1	73,0
Cu	2,34	5,0	0,08	0,2	94,8
Ni	0,00	0,0	0,02	0,1	99,9
Cd	0,49	1,1	0,02	0,1	98,8

Т а б л и ц а 7

Различие в содержании металлов в сосновой хвое разного возраста

Металл	Содержание металлов ($M_x \pm m_x$ мг/кг) и достоверность различия между годами появления хвои					
	гарь 1972 года ($t_{0,05} = 2,05$)			вырубка 1988 года ($t_{0,05} = 2,02$)		
	2008 г.	2007 г.	$t_{\text{факт.}}$	2008 г.	2007 г.	$t_{\text{факт.}}$
Mg	$2128,4 \pm 115,8$	$1803,6 \pm 116,4$	1,98	$2289,0 \pm 76,5$	$1365,9 \pm 157,9$	5,26
Mn	$210,9 \pm 19,6$	$309,1 \pm 28,2$	2,86	$251,5 \pm 23,0$	$377,1 \pm 62,8$	1,88
Zn	$41,2 \pm 1,59$	$58,1 \pm 4,18$	3,78	$51,8 \pm 2,10$	$83,8 \pm 9,70$	3,22
Fe	$33,3 \pm 0,76$	$48,9 \pm 1,80$	7,98	$27,1 \pm 0,77$	$50,8 \pm 2,68$	8,50
Pb	$2,29 \pm 0,09$	$2,70 \pm 0,12$	2,73	$3,06 \pm 0,24$	$3,28 \pm 0,25$	0,63
Cu	$1,82 \pm 0,27$	$2,12 \pm 0,34$	0,69	$2,23 \pm 0,13$	$2,20 \pm 0,13$	0,16
Ni	$0,92 \pm 0,073$	$1,56 \pm 0,313$	1,99	$1,79 \pm 0,213$	$0,97 \pm 0,248$	2,51
Cd	$0,35 \pm 0,043$	$0,34 \pm 0,020$	0,21	$0,32 \pm 0,014$	$0,34 \pm 0,027$	0,66

Биотопы также достоверно различаются между собой по содержанию в хвое ряда металлов (табл. 8). Так, на вырубке содержание цинка и свинца в хвое значительно выше, чем на гарь, что связано, вероятно, с близким расположением первого из этих биотопов к автомагистрали. В однолетней хвое на вырубке более высоко также содержание никеля, а железа, наоборот, ниже. Двухлетняя же хвоя в данном биотопе отличается пониженным содержанием магния.

Анализ собранного нами материала показал, что характер распределения содержания металлов в хвое сосновых молодняков, произрастающих на олиготрофных болотах Марийского Полесья, находящихся вдали от промышленных центров, совершенно иной, чем в зонах воздействия крупных промышленных загрязнителей [7, 8, 11, 12]. Так, магния и цинка в 2–2,5 раза выше, а железа, меди и никеля на порядок ниже, чем в сосняках Кольского полуострова в зоне воздействия комбинатов «Печенганикель» и «Североникель». По содержанию марганца наши сосняки существенно не отличаются от древостоев в зонах промышленного загрязнения.

Т а б л и ц а 8

Содержание металлов в хвое сосновых молодняков в разных биотопах

Металл	Содержание металлов ($M_x \pm m_x$ мг/кг) и достоверность различия между биотопами					
	однолетняя хвоя ($t_{0,05} = 2,02$)			двухлетняя хвоя ($t_{0,05} = 2,06$)		
	гарь	вырубка	$t_{\text{факт.}}$	гарь	вырубка	$t_{\text{факт.}}$
Mg	$2128,4 \pm 115,8$	$2289,0 \pm 76,5$	1,16	$1803,6 \pm 116,4$	$1365,9 \pm 157,9$	2,23
Mn	$210,9 \pm 19,6$	$251,5 \pm 23,0$	1,34	$309,1 \pm 28,2$	$377,1 \pm 62,8$	0,99
Zn	$41,2 \pm 1,59$	$51,8 \pm 2,10$	4,02	$58,1 \pm 4,18$	$83,8 \pm 9,70$	2,43
Fe	$33,3 \pm 0,76$	$27,1 \pm 0,77$	5,73	$48,9 \pm 1,80$	$50,8 \pm 2,68$	0,59
Pb	$2,29 \pm 0,09$	$3,06 \pm 0,24$	3,01	$2,70 \pm 0,12$	$3,28 \pm 0,25$	2,09
Cu	$1,82 \pm 0,27$	$2,23 \pm 0,13$	1,37	$2,12 \pm 0,34$	$2,20 \pm 0,13$	0,22
Ni	$0,92 \pm 0,073$	$1,79 \pm 0,213$	3,86	$1,56 \pm 0,313$	$0,97 \pm 0,248$	1,48
Cd	$0,35 \pm 0,043$	$0,32 \pm 0,014$	0,66	$0,34 \pm 0,020$	$0,34 \pm 0,027$	0,00

Т а б л и ц а 9

Матрица коэффициентов корреляции между содержанием металлов в однолетней хвое

Металл	Значение коэффициента парной корреляции между металлами						
	Mg	Mn	Zn	Fe	Pb	Cu	Ni
Гарь 1972 года (N = 15)							
Mg	1,000						
Mn	0,289	1,000					
Zn	0,401	0,085	1,000				
Fe	0,313	0,222	0,217	1,000			
Pb	0,013	-0,550	0,223	0,454	1,000		
Cu	0,086	-0,279	0,130	-0,156	0,299	1,000	
Ni	-0,156	-0,215	0,285	-0,058	0,192	0,684	1,000
Cd	0,651	0,450	0,169	0,325	0,033	-0,039	-0,364
Вырубка 1988 года (N = 31)							
Mg	1,000						
Mn	0,066	1,000					
Zn	0,437	0,534	1,000				
Fe	0,164	0,454	0,479	1,000			
Pb	0,065	0,135	0,181	0,028	1,000		
Cu	0,047	0,365	0,503	0,474	0,214	1,000	
Ni	-0,291	0,072	-0,227	0,105	-0,188	-0,170	1,000
Cd	0,255	0,126	0,517	0,087	0,206	0,090	-0,223

Важным условием нормального функционирования хвои является не только содержание в ней того или иного элемента, но и сбалансированность химического состава, поскольку одни из них могут либо ингибировать, либо стимулировать поглощение растениями других [12, 22–25]. Так, к примеру, железо антагонистически взаимодействует с цинком и марганцем: с увеличением его содержания происходит обеднение тканей хвои этими металлами. Уменьшение содержания цинка может быть обусловлено также повышением содержания меди. Результаты нашего исследования показали, что между содержанием в хвое разных металлов отмечается в основном довольно слабая взаимосвязь (табл. 9 и 10). Большое влияние на тесноту взаимосвязей оказывают возраст хвои и условия биотопа, различающиеся между собой, в частности, по химическому составу грунтовых вод [26]. В однолетней хвое сосновых молодняков на гарь 1972

года достоверно установлено наличие антагонистических отношений между марганцем и свинцом, а в двухлетней – между магнием и железом. На вырубке достоверность наличия антагонистических отношений не доказана. Положительные взаимосвязи между зольными элементами в хвое проявляются гораздо чаще. Так, в однолетней хвое на гари эти отношения достоверно установлены между парами Mg–Cd и Cu–Ni. На вырубке в хвое этого же возраста положительных взаимосвязей гораздо больше. В двухлетней хвое сосновых молодняков на гари достоверность наличия положительных отношений между элементами не доказана, а на вырубке достоверно установлен этот тип взаимосвязи между парами Mn–Cu, Fe–Pb, Pb–Cd и Cu–Cd. Химические элементы по их содержанию в хвое разного возраста и разных биотопов объединяются между собой в совершенно разные кластеры (рис. 1 и 2).

Т а б л и ц а 10

Матрица коэффициентов корреляции между
содержанием металлов в двухлетней хвое

Металл	Значение коэффициента парной корреляции между металлами						
	Mg	Mn	Zn	Fe	Pb	Cu	Ni
Гарь 1972 года (N = 15)							
Mg	1,000						
Mn	-0,147	1,000					
Zn	0,207	-0,026	1,000				
Fe	-0,602	0,415	-0,132	1,000			
Pb	0,406	-0,117	0,219	-0,172	1,000		
Cu	-0,047	0,130	-0,020	0,468	-0,343	1,000	
Ni	-0,204	0,029	-0,303	-0,018	0,005	-0,125	1,000
Cd	0,207	0,449	0,132	-0,081	0,354	-0,197	-0,255
Вырубка 1988 года (N = 12)							
Mg	1,000						
Mn	-0,350	1,000					
Zn	-0,020	0,418	1,000				
Fe	-0,314	0,382	0,325	1,000			
Pb	0,239	0,032	0,043	0,626	1,000		
Cu	-0,170	0,590	0,538	0,513	0,566	1,000	
Ni	0,563	-0,520	0,072	-0,440	-0,023	-0,127	1,000
Cd	0,059	0,057	0,173	0,542	0,841	0,694	0,122

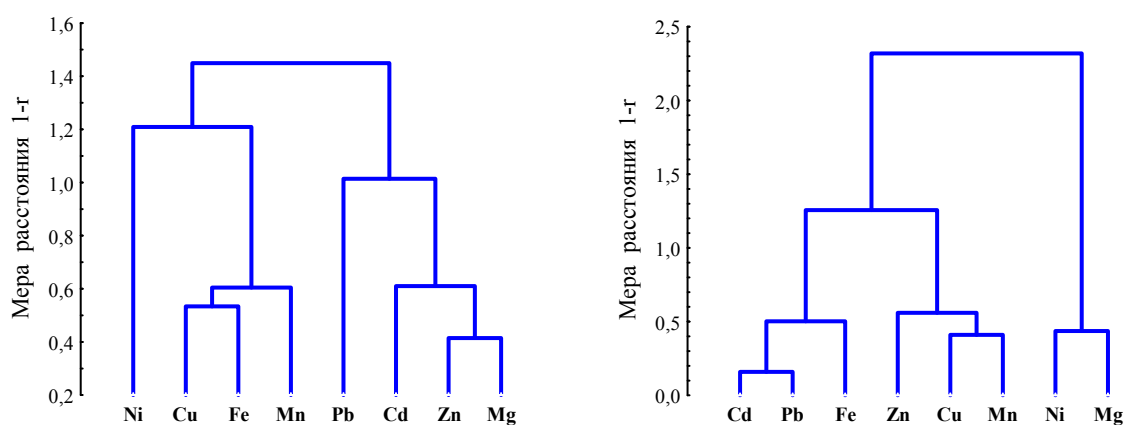


Рис. 1. Дендрограммы сходства содержания химических элементов в однолетней (слева) и двухлетней хвое (справа) сосновых молодняков на вырубке в олиготрофном болоте

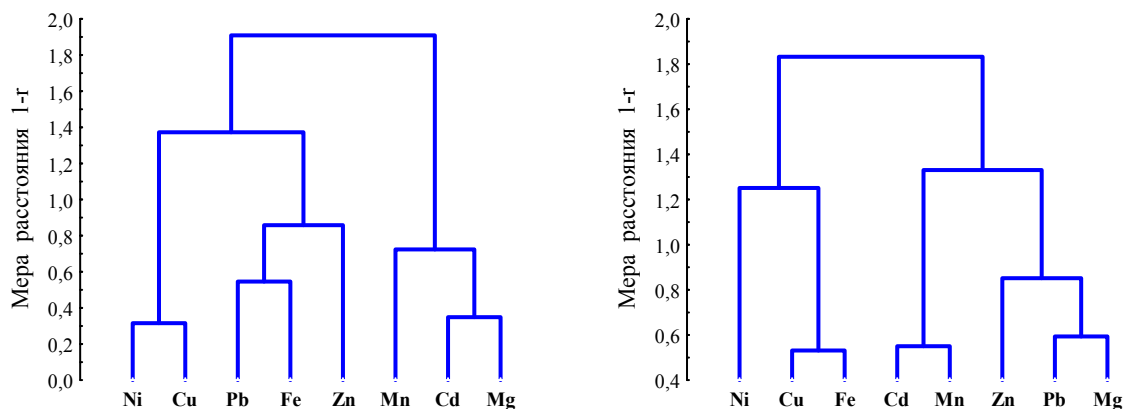


Рис. 2. Дендрограммы сходства содержания химических элементов в однолетней (слева) и двухлетней хвое сосновых молодняков на гари в олиготрофном болоте

Т а б л и ц а 11

**Изменчивость соотношения содержания металлов
в хвое сосновых молодняков, доля единицы**

Соотношение металлов	Значения статистических показателей (N = 69)					
	M_x	Min	Max	S_x	m_x	V, %
Mg / Mn	9,40	1,16	29,83	5,85	0,70	62,3
Mg / Zn	39,17	6,40	72,59	14,63	1,76	37,3
Mg / Fe	60,76	11,71	118,98	27,86	3,35	45,8
Mn / Zn	5,08	1,23	11,22	2,27	0,27	44,8
Mn / Fe	7,62	2,09	17,51	3,40	0,41	44,7

Соотношение содержания металлов в хвое не является стабильным, а подвержено весьма значительным изменениям (табл. 11). Особенно высока вариабельность соотношения магния и марганца, а меньше всего изменяется соотношение между магнием и цинком. Главным фактором изменчивости соотношения содержания металлов, особенно Mg/Mn, Mn/Zn и Mn/Fe, являются в большинстве случаев индивидуальные особенности деревьев (табл. 12). Исключением из этого правила является соотношение между магнием и цинком, вариабельность значений которого определяется в основном условиями биотопа. Установлено достоверное влияние на величину пропорций Mg/Mn, Mg/Zn и Mg/Fe возраста хвои: в однолетней хвое их значение в 1,61...3,03 раза выше, чем в двухлетней (табл. 13). Биотопы достоверно различаются между собой по величине отношения Mg/Zn, Mg/Fe и Mn/Fe в однолетней хвое и отношения Mg/Zn в двухлетней хвое (табл. 14, рис. 3).

Т а б л и ц а 12

**Результаты дисперсионного анализа изменчивости
соотношения содержания металлов в хвое**

Соотношение металлов	Фактор дисперсии и значения его параметров ($F_{0,05} = 4,15$)				
	условия биотопа		возраст хвои		доля влияния деревьев, %
	$F_{\text{факт.}}$	доля влияния, %	$F_{\text{факт.}}$	доля влияния, %	
Mg / Mn	0,02	0,0	13,38	23,0	77,0
Mg / Zn	12,33	8,9	79,57	57,4	33,7
Mg / Fe	0,87	0,7	72,80	57,0	42,3
Mn / Zn	0,66	1,5	0,03	0,1	98,4
Mn / Fe	3,36	6,9	0,60	1,2	91,9

Т а б л и ц а 13

**Различие в соотношении содержания металлов
в сосновой хвое разного возраста**

Соотношение металлов	Соотношение содержания металлов и достоверность различия между годами появления хвои					
	гарь 1972 года ($t_{0,05} = 2,05$)			вырубка 1988 года ($t_{0,05} = 2,02$)		
	2008 г.	2007 г.	$t_{\text{факт.}}$	2008 г.	2007 г.	$t_{\text{факт.}}$
Mg / Mn	$11,38 \pm 1,22$	$6,82 \pm 0,98$	2,91	$11,53 \pm 1,25$	$5,35 \pm 1,36$	3,34
Mg / Zn	$52,06 \pm 2,43$	$32,34 \pm 2,48$	5,68	$45,27 \pm 1,55$	$17,87 \pm 2,26$	9,98
Mg / Fe	$64,00 \pm 3,29$	$38,34 \pm 3,64$	5,23	$85,83 \pm 3,36$	$28,35 \pm 4,36$	10,44
Mn / Zn	$5,21 \pm 0,54$	$5,66 \pm 0,65$	0,53	$4,84 \pm 0,41$	$4,73 \pm 0,76$	0,13
Mn / Fe	$6,34 \pm 0,56$	$6,30 \pm 0,54$	0,05	$9,18 \pm 0,73$	$7,35 \pm 1,13$	1,36

Т а б л и ц а 14

**Соотношение содержания металлов в хвое
сосновых молодняков в разных биотопах**

Соотношение металлов	Соотношение содержания металлов и достоверность различия между биотопами					
	однолетняя хвоя ($t_{0,05} = 2,02$)			двухлетняя хвоя ($t_{0,05} = 2,06$)		
	гарь	вырубка	$t_{\text{факт.}}$	гарь	вырубка	$t_{\text{факт.}}$
Mg / Mn	$11,38 \pm 1,22$	$11,53 \pm 1,25$	0,84	$6,82 \pm 0,98$	$5,35 \pm 1,36$	0,88
Mg / Zn	$52,06 \pm 2,43$	$45,27 \pm 1,55$	2,36	$32,34 \pm 2,48$	$17,87 \pm 2,26$	4,31
Mg / Fe	$64,00 \pm 3,29$	$85,83 \pm 3,36$	4,64	$38,34 \pm 3,64$	$28,35 \pm 4,36$	1,76
Mn / Zn	$5,21 \pm 0,54$	$4,84 \pm 0,41$	0,54	$5,66 \pm 0,65$	$4,73 \pm 0,76$	0,93
Mn / Fe	$6,34 \pm 0,56$	$9,18 \pm 0,73$	3,09	$6,30 \pm 0,54$	$7,35 \pm 1,13$	0,84

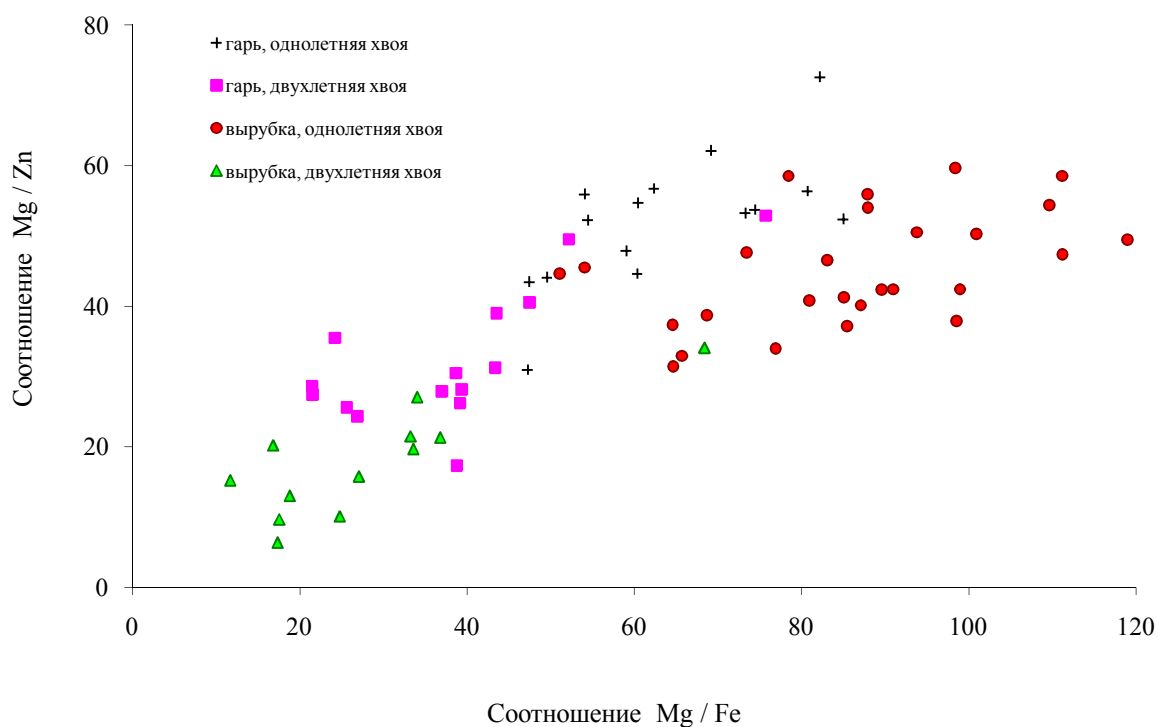


Рис. 3. Области рассеивания эмпирических точек в пространстве значений соотношения содержания металлов в хвое сосновых молодняков на олиготрофных болотах

Оценка параметров состояния хвои важна не сама по себе, а для диагностики жизнеспособности деревьев и древостоев в целом. Результаты исследований показали, что значения многих параметров хвои не зависят от размеров деревьев и слабо связаны в большинстве случаев с величиной текущего годичного прироста в высоту (табл. 15). Тесно связаны с приростом лишь длина и вес хвоинок, что является вполне естественным, поскольку величина этих параметров определяется одним и тем же фактором – запасом питательных веществ, накопленных растениями в предшествующий их образованию год [24]. Вместе с тем, ни длина, ни вес хвоинок не могут являться индикаторами производительности древостоя, а тем более наследственных свойств особей, как это констатируют некоторые исследователи [1, 3, 27], т.к. они отражают только *текущее состояние деревьев*.

Т а б л и ц а 15

**Влияние размеров деревьев и величины их прироста
в высоту на параметры состояния хвои**

Параметр	Значения коэффициентов корреляции между параметрами				
	высота деревьев (H)	диаметр деревьев (D)	отношение H / D^2	прирост в высоту	
				2008 года	2007 года
Однолетняя хвоя 2008 года (N = 42)					
Длина хвоинок	0,172	0,016	0,091	0,705	0,675
Вес 100 пар хвоинок	0,312	0,237	-0,162	0,730	0,703
Влажность хвои	-0,116	0,007	-0,094	0,102	0,081
Зольность хвои	-0,046	0,077	-0,126	0,170	0,218
Содержание Mg	-0,169	-0,339	0,382	-0,064	-0,104
Содержание Mn	0,108	-0,013	0,210	0,217	0,094
Содержание Zn	0,124	-0,094	0,303	0,457	0,306
Содержание Fe	-0,100	-0,009	0,060	-0,429	-0,499
Содержание Pb	-0,148	-0,135	0,121	0,142	0,113
Содержание Cu	-0,009	-0,118	0,130	0,358	0,295
Содержание Ni	0,174	0,168	-0,150	0,349	0,410
Содержание Cd	-0,139	-0,143	0,135	-0,128	-0,158
Соотношение Mg / Mn	-0,115	-0,077	-0,061	-0,081	0,045
Соотношение Mg / Zn	-0,300	-0,200	0,008	-0,570	-0,453
Соотношение Mg / Fe	-0,033	-0,196	0,190	0,220	0,252
Соотношение Mn / Zn	0,031	0,056	0,028	-0,052	-0,108
Соотношение Mn / Fe	0,162	0,020	0,159	0,357	0,253
Двухлетняя хвоя 2007 года (N = 30)					
Длина хвоинок	0,460	-0,211	-0,080	0,777	0,738
Вес 100 пар хвоинок	0,497	-0,162	-0,227	0,833	0,787
Влажность хвои	-0,024	0,039	-0,335	-0,050	-0,064
Зольность хвои	0,093	-0,038	-0,230	0,324	0,250
Содержание Mg	0,198	-0,040	-0,335	-0,375	-0,365
Содержание Mn	0,013	-0,104	0,345	0,248	0,115
Содержание Zn	0,069	-0,063	0,264	0,543	0,390
Содержание Fe	-0,422	0,122	0,436	0,013	-0,087

Окончание табл. 15

Параметр	Значения коэффициентов корреляции между параметрами				
	высота деревьев (H)	диаметр деревьев (D)	отношение H / D ²	прирост в высоту	
				2008 года	2007 года
Двухлетняя хвоя 2007 года (N = 30)					
Содержание Pb	-0,029	0,028	0,110	0,266	0,202
Содержание Cu	-0,200	-0,117	0,249	0,022	-0,062
Содержание Ni	0,138	-0,128	-0,036	-0,178	-0,222
Содержание Cd	-0,162	0,014	-0,024	-0,027	-0,107
Соотношение Mg / Mn	0,011	0,134	-0,251	-0,191	-0,104
Соотношение Mg / Zn	0,017	0,135	-0,218	-0,688	-0,626
Соотношение Mg / Fe	0,280	0,380	-0,360	-0,301	-0,270
Соотношение Mn / Zn	-0,046	-0,093	0,121	-0,192	-0,221
Соотношение Mn / Fe	0,166	-0,010	0,213	0,252	0,143

Корреляционный анализ позволил выявить достоверное наличие прямой и умеренной связи между величиной прироста и содержанием в однолетней и двухлетней хвое цинка, входящего в состав активных ферментов растений. Положительная корреляция прироста отмечена также с содержанием в однолетней хвое меди и никеля, что пока не поддается объяснению, поскольку эти металлы токсичны для растений. Возможно, что малая их концентрация оказывает стимулирующее действие. Обратная умеренная связь текущего прироста деревьев отмечена между соотношением содержания магния и цинка в одно- и двухлетней хвое, а также содержанием железа в однолетней хвое и магния в двухлетней.

Выводы.

1. Значения всех морфометрических, физиологических и химических параметров хвои сосновых молодняков на олиготрофных болотах Марийского Полесья имеют довольно высокую изменчивость. Особенно высока вариабельность веса хвоинок, содержания в хвое никеля, цинка и марганца, а также соотношение между содержанием магния и марганца. Меньше всего изменяется влажность и зольность хвои, содержание в ней магния, который занимает лидирующее положение в ранговом ряду оцененных нами металлов, а также соотношение между магнием и цинком.

2. Основным фактором изменчивости практически всех параметров хвои являются индивидуальные особенности деревьев. Вторым по значимости фактором является возраст хвои, по мере старения которой происходит снижение влажности и содержания магния, а также накопление железа, марганца и цинка. Биотопы достоверно различаются между собой по длине и весу хвоинок, а также по содержанию в хвое ряда металлов. Так, на вырубке содержание цинка и свинца в однолетней и двухлетней хвое значительно выше, чем на гари. В однолетней хвое на вырубке более высоко также содержание никеля, а железа, наоборот, ниже. Двухлетняя же хвоя в данном биотопе отличается пониженным содержанием магния.

3. Характер распределения содержания металлов в хвое сосновых молодняков, произрастающих на олиготрофных болотах Марийского Полесья, находящихся вдали от промышленных центров, совершенно иной, чем в зонах воздействия крупных промышленных загрязнителей. Так, магния и цинка в ней в 2–2,5 раза выше, а железа, меди

и никеля на порядок ниже, чем в сосняках Кольского полуострова в зоне воздействия комбинатов «Печенганикель» и «Североникель». По содержанию же марганца они существенно не отличаются от древостоев в зонах промышленного загрязнения.

4. Между содержанием в хвое разных металлов отмечается в основном довольно слабая взаимосвязь. В однолетней хвое сосновых молодняков на гари 1972 года достоверно установлено наличие антагонистических отношений между марганцем и свинцом, а в двухлетней – между магнием и железом. На вырубке достоверность наличия антагонистических отношений между металлами не доказана. Гораздо чаще проявляются положительные взаимосвязи между зольными элементами в хвое. Так, в однолетней хвое на гари эти отношения достоверны между парами Mg–Cd и Cu–Ni, а на вырубке – между Mg–Zn, Mn–Zn, Mn–Fe, Mn–Cu, Zn–Fe, Zn–Cu, Zn–Cd и Fe–Cu. В двухлетней хвое сосновых молодняков на вырубке положительные взаимосвязи достоверно выявлены между парами Mn–Cu, Fe–Pb, Pb–Cd и Cu–Cd. Химические элементы по их содержанию в хвое разного возраста и разных биотопов объединяются между собой в совершенно разные кластеры.

5. Значения многих параметров хвои не зависят от размеров деревьев и слабо связаны в большинстве случаев с величиной годичного прироста в высоту, не отражая фактически их текущего состояния. Тесно связаны с приростом лишь длина и вес хвоинок. Положительная умеренная корреляция прироста отмечена также с содержанием в хвое цинка, меди и никеля, а обратная – с содержанием железа в однолетней хвое и магния в двухлетней, а также с соотношением содержания магния и цинка.

6. Для оценки состояния древостоев и степени загрязнения окружающей среды целесообразно использовать не только содержание в хвое химических элементов, но и соотношение их между собой, беря образцы не менее чем с 12–15 деревьев средних по своим размерам и текущему годичному приросту в высоту.

Список литературы

1. Правдин, Л. Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция / Л. Ф. Правдин. – М.: Наука, 1964. – 192 с.
2. Абатуров, Ю. Д. Изменение длины хвои в различных типах сосняков в зависимости от характера влагообеспеченности / Ю. Д. Абатуров // Тр. Ин-та биологии УФ АН СССР. Вып. 43. – Свердловск, 1965. – С. 225–231
3. Тюкин, Н. Т. Изменчивость признаков хвои сосны обыкновенной / Н. Т. Тюкин // Лесное хозяйство. – 1974. – № 8. – С. 39–42.
4. Семенов, Н. В. Опыт изучения хвои сосны для оценки состояния лесных экосистем / Н. В. Семенов, А. А. Рудкова // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – Т. XI. – С. 142–149.
5. Гримальский, В. И. Устойчивость сосновых насаждений против хвоегрызущих вредителей / В. И. Гримальский. – М.: Лесная промышленность, 1964. – 152 с.
6. Цветков, В. Ф. Сосняки Кольской лесорастительной области и ведение хозяйства в них / В. Ф. Цветков. – Архангельск, 2002. – 380 с.
7. Цветков, В. Ф. Лес в условиях аэротехногенного загрязнения / В. Ф. Цветков, И. В. Цветков. – Архангельск, 2003. – 354 с.
8. Ярмишко В. Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на европейском Севере / В. Т. Ярмишко. – СПб., 1997. – 210 с.
9. Ярмишко, В. Т. Крона дерева как индикатор его состояния в условиях техногенного загрязнения окружающей среды / В. Т. Ярмишко // Проблемы экологии растительных сообществ Севера. – СПб., 2005. – С. 28–57.
10. Мартынюк, А. А. Сосновые экосистемы в условиях аэротехногенного загрязнения / А. А. Мартынюк. – М.: ВНИИЛМ, 2004. – 160 с.
11. Лянгузова, И. В. Содержание химических элементов в различных фракциях фитомассы сосны / И. В. Лянгузова // Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова. – Л.: Наука, 1990. – С. 48–55.

12. Лукина, Н. В. Химический состав хвои сосны на Кольском полуострове / Н. В. Лукина, В. В. Никонов, Х. Райтио // Лесоведение. – 1994. – № 6. – С. 10–21.
13. Дроздова, И. В. Биогеохимические особенности растительности ультраосновных горных массивов Полярного Урала и Чукотки / И. В. Дроздова, М. Н. Катаева, А. И. Беляева // Проблемы экологии растительных сообществ Севера. – СПб., 2005. – С. 392–414.
14. Згуровская, Л. Н. Исследование хвои сосны и кедра на болотах разных типов / Л. Н. Згуровская // Ботанический журнал. – 1965. – Т. 50. – Вып. 2. – С. 234–237.
15. Корчагина, М. П. Морфометрическая характеристика хвои сосны обыкновенной на осушенных торфяных почвах / М. П. Корчагина // Изменение лесоболотных биогеоценозов под влиянием осушения. – Петрозаводск, 1986. – С. 62–82.
16. Методы определения микроэлементов в почвах, растениях и водах / Под ред. И. Г. Важенина. – М.: Колос, 1974. – 283 с.
17. Лакин, Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1980. – 293 с.
18. Афифи, А. Статистический анализ. Подход с использованием ЭВМ / А. Афифи, С. Эйзен. – М.: Мир, 1982. – 488 с.
19. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Колос, 1979. – 416 с.
20. 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.
21. Никонов, В. В. Химический состав сосны на северном пределе распространения (Кольский полуостров) / В. В. Никонов, П. А. Баскова, И. И. Сизов // Дендрологические исследования в Заполярье. – Апатиты: КНЦ АН СССР, 1987. – С. 62–75.
22. 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.
23. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
24. Крамер, Л. Физиология древесных растений / Л. Крамер, Т. Козловский. – М.: Гослесбумиздат, 1963. – 628 с.
25. Лархер, В. Экология растений / В. Лархер. – М.: Мир, 1978. – 384 с.
26. Демаков, Ю. П. Физико-химические свойства грунтовых вод олиготрофных болот Марийского Полесья / Ю. П. Демаков, М. Г. Сафин // Наука в условиях современности. – Йошкар-Ола, 2009. – С. 9–11.
27. Ефремова, Т. Т. Опыт построения бонитировочной шкалы местообитаний болотных сосняков южнотаежной подзоны Западной Сибири / Т. Т. Ефремова, А. Ф. Аврова, С. П. Ефремов // Хвойные бореальной зоны. – 2008. – Т. XXV. – № 3. – С. 269–276.

Работа выполнена в рамках гранта «Обоснование модели устойчивого состояния елово-пихтовых лесов для формирования высокопродуктивных насаждений с учетом геохимических аспектов их функционирования и особенностей биологического круговорота макро- и микроэлементов» Министерства образования и науки Российской Федерации (государственный контракт П 738 от 20.05. 2010).

Статья поступила в редакцию 20.08.10.

*Yu. P. Demakov, M. G. Safin, R. I. Vinokurova,
V. I. Talantsev, S. M. Shvetsov*

NEEDLES AS AN INDICATOR OF A PINE YOUNG GROWTHS CONDITION ON MARI WOODLANDS OLIGOTROPHIC MOORS

The data characterizing the limits and regularities of variability of morphologic, physiological and chemical parameters of needles pine young growths on Mari Woodlands oligotrophic moors, and interrelation among the parameters and trees condition are given. It is concluded that the major variability factor of almost all needles parameters are trees special features. The second factor for the importance is the age of needles.

Key words: oligotrophic moors, pine, needles, morphologic, physiological and chemical parameters, variability.

ДЕМАКОВ Юрий Петрович – доктор биологических наук, профессор кафедры управления природопользованием и лесозащиты МарГТУ. Область научных интересов – биогеоценология, дендрохронология. Автор 205 научных и учебно-методических работ, в том числе трех монографий.

E-mail: DemakovYP@marstu.net

САФИН Масхут Гумарович – директор Государственного природного заповедника «Большая Кокшага», аспирант МарГТУ. Область научных интересов – биогеоценология, болотоведение. Автор 15 публикаций.

E-mail: buh2@newmail.ru

ВИНОКУРОВА Раиса Ибрагимовна – доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой химии МарГТУ. Область научных интересов – биогеохимия, биологический круговорот веществ, экология и физиология древесных растений. Автор более 150 публикаций, в том числе пяти монографий.

E-mail: VinokurovaRI@marstu.net

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

E-mail: TalancevVI@marstu.net

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

E-mail: ShvecovSM@marstu.net

УДК 633.88 (470.343)

Н. А. Разумников, И. Н. Разумников

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СЕЗОННОГО РАЗВИТИЯ ЭЛЕУТЕРОКОККА КОЛЮЧЕГО В РЕСПУБЛИКЕ МАРИЙ ЭЛ

В результате 15-летних наблюдений за интродукционными культурами элеутерококка колючего в Республике Марий Эл установлены закономерности их адаптации к условиям умеренного континентального климата, отличающегося от присущего для вида в естественном ареале муссонного. Выявлены приспособительные реакции растений на аномальные отклонения климатических условий в отдельные годы.

Ключевые слова: элеутерококк колючий, интродукционная культура, климат, акклиматизация, адаптация, фенология.

Введение. Элеутерококк колючий *Eleutherococcus senticosus* (Rupr. et Maxim.) – растение семейства аралиевые, естественно произрастающее в России в Хабаровском, Приморском краях, Амурской области и на южном Сахалине [1], является одним из фармакопейных видов лекарственных растений [2]. Данные об экологии вида в естественном ареале скупы. Из публикаций следует, что элеутерококк колючий светолюбив, но способен выносить некоторое затенение [3–5], преимущественно произрастает на плодородных и среднеобеспеченных дренированных влажных и свежих почвах. В настоящее время отмечается выпадение элеутерококка из состава растительности в его естественном ареале в связи с массовой заготовкой сырья и уничтожением лесов, приводящих к изменениям экологического режима [6].

Признание элеутерококка колючего как перспективного вида-интродуцента [7, 8] побуждает изучать особенности его адаптации в различных регионах страны [9–11]. Исследованиями в Республике Марий Эл доказана успешность интродукции элеутерококка колючего и накопления в подземных органах элеутерозидов выше нормативного значения [12]. В условиях интродукции вид проявил себя как мезотроф и мезофит [13]. Он светолюбив и степень освещённости является одним из лимитирующих экологических факторов его роста и продуктивности, однако произрастание на плантации в окружении лесного массива, где растения получали солнечной радиации в 1,3...15,8 раза меньше от максимально возможной, характеризует и пластичность вида по отношению к световому фактору [14]. Для рационального использования биоресурсного потенциала в условиях интродукции весьма важным при разработке агротехники возделывания является знание особенностей биологии и экологии вида.

В условиях интродукции растение проходит процесс акклиматизации, т.е. приспособления к новым условиям среды, при котором большое значение имеют климатические факторы (температура и влажность воздуха, количество и распределение осадков, световой режим и пр.), тип почвы, состав населяющей её микрофлоры и др. [15]. Процесс акклиматизации к новым климатическим, почвенным и биотическим условиям существования сопровождается адаптацией и обеспечивается селекцией организмов.

Одним из проявлений адаптации растений являются изменения сезонного развития, поэтому изучение его закономерностей, особенно у культур, сформированных из семян местной репродукции, приобретает актуальность при расширении интродукционного опыта. В новых климатических условиях научный и практический интерес вызывает также изучение адаптационных реакций растений.

Цель исследования – обобщение результатов многолетних фенологических наблюдений за интродукционными культурами элеутерококка колючего в условиях Республики Марий Эл.

Решаемые задачи:

- 1) сравнительный анализ климатических условий в естественном ареале элеутерококка колючего в Республике Марий Эл;
- 2) установление закономерностей сезонного развития интродукционных культур элеутерококка колючего в Республике Марий Эл;
- 3) выявление взаимосвязи между фенологическими признаками элеутерококка колючего и климатическими факторами региона интродукции;
- 4) изучение адаптационных реакций растений к условиям Среднего Поволжья, характеризующегося, в отличие от естественного ареала, умеренным континентальным климатом.

Объекты и методика исследований. Объекты исследований представлены четырьмя экспериментальными интродукционными культурами элеутерококка колючего различного происхождения и разного возраста, высаженными на четырех участках. Самая старая группа растений состоит из двух кустов в возрасте около 40 лет и пяти – 25 лет, произрастающих в дендрарии Ботанического сада-института (БСИ) Марийского государственного технического университета (МарГТУ). Они были привезены из Главного Ботанического сада (г. Москва). Вторая, названная троичко-посадкой по месту произрастания материнского растения в Республике Марий Эл, высажена на экспериментальной семенной плантации (ЭСП) БСИ и насчитывает 38 растений местного происхождения в возрасте 16 лет. На третьем участке, расположенном в пригороде г. Йошкар-Олы, объектом наблюдений служили 21-летние растения первичной интродукции, привезённые из Арсеньевского лесничества Приморского края. Четвёртая интродукционная культура (неустановленного происхождения) состоит из двух биогрупп: восемь растений произрастают на ЭСП, а четыре растения в возрасте 6–9 лет – в пос. Зелёный Республики Марий Эл. На первом, втором и четвёртом участках почва дерново-сильнопodzолистая среднесуглинистая на покровных суглинках. На третьем участке почва окультуренная, легкосуглинистая.

Для выявления климатических особенностей районов естественного обитания и интродукции элеутерококка колючего использованы данные по климату Единого государственного фонда данных за 1970–2008 гг. [16] и монографический материал [17]. Фенологические наблюдения проводили в период с 1992 по 2009 год по используемой в ботанических садах методике [18]. При обработке дат и сроков фенологии использовали данные метеопоста БСИ МарГТУ. Для статистической обработки календарные даты фенофаз были переведены в непрерывный ряд данных, т.е. начиная счёт от 1 марта [19]. Принадлежность растений к феноритмотипу устанавливали по П. И. Лапину [20].

Результаты исследований. Анализ исходного материала показал, что климатические условия естественного ареала элеутерококка колючего, в сравнении с регионом интродукции, отличаются более высоким температурным режимом, особенно в августе–сентябре, когда значения среднемесячной температуры воздуха выше на 3,4–5,6 °С (табл. 1). Район интродукции и юг Дальнего Востока существенно отличаются и количеством атмосферных осадков: в Республике Марий Эл в период с мая по июнь их вы-

падает в 1,5–1,9 раза меньше, а в июле–сентябре разница достигает 1,7–2,1 раза. Причём, наибольшее количество осадков в Приморском и Хабаровском краях выпадает в наиболее тёплые месяцы – в июле–августе. В отличие от климата юга Дальнего Востока, характерными для Республики Марий Эл являются наибольшее количество тепла в июне-июле и относительно равномерное выпадение атмосферных осадков в летние месяцы (по 60–70 мм). Воздействие муссонов обуславливает большую облачность и резкое снижение продолжительности солнечного сияния в летние месяцы. Отмечается тенденция к увеличению продолжительности солнечного сияния по мере продвижения вглубь материка, но при этом в летний период Хабаровский край и Республика Марий Эл мало отличаются по анализируемому показателю. Регионам присущи также различные экстремальные температуры воздуха (табл. 2). Установлено, что при диапазоне температур от +39 до –41 °С растения элеутерококка колючего сохраняют жизнеспособность практически без повреждений.

Т а б л и ц а 1

**Климатические параметры естественного ареала
и региона интродукции элеутерококка колючего**

Метео- станция	Месяцы						Суммарно
	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	
Среднемесячная температура, °С							
Владивосток	4,9	9,6	13,4	17,6	19,7	15,8	81,0
Тимирязевский	6,2	12,0	15,9	20,3	20,9	15,4	90,7
Хабаровск	4,5	12,2	18,0	21,3	19,7	13,6	89,3
Йошкар-Ола	4,7	12,0	16,6	18,7	16,0	10,2	78,2
Атмосферные осадки, мм							
Владивосток	47,9	77,3	100,8	135,9	149,9	123,7	635,5
Тимирязевский	34,4	59,2	75,3	98,1	114,8	101,4	483,2
Хабаровск	44,3	63,0	74,6	129,8	141,6	82,1	535,4
Йошкар-Ола	32,7	41,5	67,0	72,1	63,7	54,4	331,4
Продолжительность солнечного сияния, ч							
Владивосток	186	186	134	121	159	198	984
Тимирязевский	199	221	206	195	208	212	1241
Хабаровск	213	246	265	254	224	209	1411
Йошкар-Ола	197	269	280	292	232	141	1411

Т а б л и ц а 2

**Экстремумы температуры воздуха в пределах естественного ареала
и региона интродукции элеутерококка колючего**

Метеостанция	Абсолютный минимум		Абсолютный максимум	
	значение	дата	значение	дата
Владивосток [17]	–30 °С	декабрь 1931 г.	34 °С	август 1921 г.
Хабаровск [21]	–57 °С	не указана	не указано	не указана
Йошкар-Ола	–47 °С	декабрь 1978 г.	39 °С	август 2010 г.

Фенологические наблюдения показали, что вегетация данного вида начинается в конце апреля, а линейный рост – в среднем с 4 мая (табл. 3). Цветение растений начинается во второй половине июля и длится 6–15 дней. При этом период цветения каждого головковидного зонтика составляет 5–11 дней, после чего происходит завязывание плодов. Плоды созревают к концу первой декады сентября. Вегетацию растения завер-

шают в среднем в III декаде сентября. Средняя продолжительность вегетационного периода составляет 152 дня, что на 11–15 дней меньше, чем в естественных условиях обитания [22, 23]. Таким образом, элеутерококку колючему в условиях интродукции присущ феноритмотип «растения, рано начинающие и рано оканчивающие вегетацию». Анализ данных показал, что изменчивость наступления фенофаз достаточно большая, размах которых составляет от 17 до 31 дня. Наибольшей величиной изменчивости характеризуется продолжительность периода вегетации растений, начала цветения и роста побегов, а наименьшей – дата фазы опадения листьев, разверзания почек и созревания плодов.

Т а б л и ц а 3

Показатели изменчивости дат фенологических фаз элеутерококка колючего в Марий Эл

Фенологические фазы развития растений	Значения статистических показателей, дней от 1 марта*					Средняя дата
	Mx	min	max	размах	S _x	
Разверзание почек	59	48	66	18	5,7	28.04
Начало роста побегов	65	51	75	24	6,2	4.05
Начало цветения	138	121	150	29	6,6	16.07
Созревание плодов	193	180	201	21	1,9	9.09
Опадение листьев	211	203	220	17	5,2	25.09
Период вегетации	152	141	172	31	9,0	

Примечание: Mx – среднее арифметическое значение признака, S_x – стандартное отклонение признака.

Т а б л и ц а 4

Значения показателей изменчивости сумм эффективных температур, соответствующих началу фенофаз элеутерококка колючего

Фенофазы	Значения статистических показателей, °C				
	Mx± m _x	min	max	размах	S _x
Разверзание почек	107±11,1	42	175	133	43,1
Начало роста побегов	174±13,5	113	278	165	46,8
Начало цветения	1399±88,7	972	2127	1155	307,2
Созревание плодов	2191±74,0	1751	2474	723	231,7
Опадение листьев	2425±77,7	1946	3113	1167	301,1
Период вегетации	2319±80,1	1776	3037	1261	310,3

Фенофазы (начало и продолжительность) часто оценивают не только по времени, т.е. по числу дней, но и по сумме эффективных температур, оказывающих прямое влияние на скорость протекания ростовых и физиологических процессов. Детальные наблюдения в 1992 и 1993 гг. показали, что у сеянцев элеутерококка колючего разверзание почек происходило спустя 1–3 дня со среднесуточной температурой воздуха выше 8–9 °C и при прогревании почвы на глубине 0–20 см до 6–7 °C. Выявлено, что для начала вегетации молодых растений достаточно одного дня со среднесуточной температурой выше 9–10 °C. Распускание листочков и рост побегов сеянцев отмечали при кратковременном переходе среднесуточной температуры за 12–13 °C, а обособление листовых пластинок – спустя 4–6 дней, реже 3 дня после разверзания почек при среднесуточной температуре выше 14–15 °C [13]. Анализ многолетних данных показал, что изменчивость наступления и продолжительности различных фенофаз растения, оцененная по сумме эффективных температур, достигает, так же как и по календарным датам, значительных величин, составляющих от 133 до 1261 °C (табл. 4). Наименьшие ве-

личины отклонений от среднего значения характерны для фаз разворачивания почек (начала вегетации) и начала роста побегов, а наибольшие – для фаз начала цветения, опадения листьев и общего периода вегетации.

Зависимость наступления определенной фенологической фазы элеутерококка колючего в условиях интродукции от числа дней описывается уравнением (1), а от суммы эффективных температур – уравнением (2):

$$Y_1 = 1,43 \cdot [(X + 0,26) / 100]^{1,41} + 0,71; R^2 = 0,94; \quad (1)$$

$$Y_2 = 15,4 \cdot X - 797,9; R^2 = 0,96; \quad (2)$$

где Y_1 – среднее число дней, начиная от 1 марта, приходящееся на фенофазу; Y_2 – сумма эффективных температур; X – фенофаза (2 – начала роста, 3 – начала цветения, 4 – начала созревания плодов, 5 – начала осеннего листопада).

Проведенные нами исследования позволили установить не только сроки наступления фенофаз, но и их продолжительность, которая также имеет значительную изменчивость (табл. 5). Наименьшую вариабельность как по числу дней ($S_x = 4,3$ дня), так и по сумме эффективных температур ($S_x = 52^\circ\text{C}$) имеет период от разворачивания почек до начала роста побегов. Наибольшая вариабельность по числу дней отмечается в промежуток от фазы начала цветения до созревания плодов, а по сумме эффективных температур – от начала роста побегов до начала цветения.

Т а б л и ц а 5

Изменчивость продолжительности между фенофазами элеутерококка колючего

Фенофазы	Значения статистических показателей				
	$M_x \pm m_x$	min	max	размах	S_x
По числу дней					
Разворачивание почек – начало роста побегов	$7 \pm 1,3$	1	15	14	4,3
Начало роста побегов – начало цветения	$73 \pm 1,9$	62	87	25	6,6
Начало цветения – созревание плодов	$55 \pm 3,2$	38	77	39	10,4
Созревание плодов – опадение листьев	$19 \pm 2,3$	6	33	27	7,8
По сумме эффективных температур					
Разворачивание почек – начало роста побегов	$78 \pm 15,0$	16	198	182	51,9
Начало роста побегов – начало цветения	$1225 \pm 91,0$	799	2014	1215	315,1
Начало цветения – созревание плодов	$796 \pm 61,4$	342	1043	701	203,5
Созревание плодов – опадение листьев	$264 \pm 60,0$	42	716	674	198,9

Расчеты показали, что связь между датами наступления фенофаз и суммой накопленных эффективных температур на это время очень слабая или даже практически отсутствует (табл. 6), что указывает на независимость этих переменных, хотя вполне логичным является предположение об их взаимосвязанности. Данный парадокс объясняется как определенной инерционностью растений по отношению к температуре, не успевающих быстро перестраиваться в ответ на изменения этого фактора, так и замедлением течения физиологических процессов при слишком высокой температуре. Наступление определенной фазы вегетации может происходить при разном соотношении переменных: либо при меньшем числе дней за счёт быстрого нарастания тепла, либо при медленном накоплении эффективных температур. Определенное значение в этом процессе имеют также ночные температуры, особенно заморозки в начале вегетации, и смена погодных условий. Так, например, в 1997, 1998, 2001 гг. после холодного перио-

да резко устанавливалась тёплая погода, вызвавшая разverzание почек при минимальных значениях сумм эффективных температур. В 1993, 1994, 1998 и 2002 гг. фаза осеннего листопада отмечалась в близкие со средней многолетней датой сроки, но при меньших значениях сумм эффективных температур. Следует отметить, что завершению вегетации растений способствуют, как правило, заморозки в сентябре.

Т а б л и ц а 6

Уравнения связи между датами наступления основных фенофаз элеутерококка колючего в условиях интродукции и суммой эффективных температур на соответствующий период

Фенофаза	Вид уравнения	Коэффициент детерминации
Начало вегетации	$Y = 2,75 X - 55,86$	0,13
Начало роста	$Y = 0,88 X + 116,1$	0,01
Начало цветения	$Y = 7,79 X + 322,5$	0,03
Созревание плодов	$Y = 8,60 X + 530,9$	0,06
Осеннего листопада	$Y = 24,93 X - 2830,9$	0,18
Период вегетации	$Y = 18,95 X - 564,2$	0,30

Примечание: Y – сумма эффективных температур, X – число дней, начиная от 1 марта.

Т а б л и ц а 7

Матрица коэффициентов корреляции между фенофазами элеутерококка колючего

Фенофаза	Значения коэффициентов корреляции между фенофазами				
	1	2	3	4	5
По числу дней					
Начало вегетации	1,00				
Начало роста	0,76	1,00			
Начало цветения	0,55	0,47	1,00		
Созревание плодов	– 0,47	– 0,36	– 0,24	1,00	
Осеннего листопада	– 0,19	– 0,04	– 0,66	0,14	1,00
Период вегетации	– 0,77	– 0,45	– 0,76	0,35	0,75
По сумме эффективных температур					
Начало вегетации	1,00				
Начало роста	0,30	1,00			
Начало цветения	– 0,09	– 0,10	1,00		
Созревание плодов	– 0,07	– 0,24	0,78	1,00	
Осеннего листопада	– 0,15	– 0,16	0,51	0,78	1,00
Период вегетации	– 0,28	– 0,20	0,51	0,78	0,99

Корреляционный анализ показал, что в большинстве случаев нет полной сопряженности между различными фенофазами, оцененными как по числу дней, так и по сумме накопленных эффективных температур (табл. 7), т.е. по наступлению одной фазы нельзя достоверно определить сроки наступления последующих. В этом процессе просматривается общая закономерность: чем ближе расположены между собой фенофазы, тем теснее связь между ними, а по мере их удаления связь становится слабее, переходя с положительной на отрицательную. Наиболее тесная связь отмечается между фенодатами начала вегетации и начала роста побегов, а также между датой осеннего листопада и продолжительностью вегетации. Между фенодатами начала вегетации, а также начала цветения и общим временем вегетации наблюдается тесная обратная

связь, свидетельствующая о том, что чем раньше наступает весна в Марий Эл, тем дольше у растений продолжается активный период, и наоборот.

Проведенные нами наблюдения показали, что фазы разворачивания почек, облиствления и начала роста побегов, цветения и созревания плодов элеутерококка колючего в Марий Эл и в естественном ареале отмечаются почти в одинаковые сроки. Продолжительность цветения в условиях интродукции при близких значениях календарных дат начала фазы несколько «сжата», что объясняется тёплой сухой погодой в Республике Марий Эл, на что мы указывали ранее [24]. Следует заметить, что на ускорение сезонного развития элеутерококка в условиях жаркого и сухого лета на юге Дальнего Востока указывает и А. А. Чашухина [22]. Сокращение периода вегетации на 1–2 недели в условиях интродукции следует связать не только с меньшим количеством тепла в августе–сентябре, но и с несколько ранним снижением среднесуточной температуры за счёт заморозков до уровня, когда вегетация растений прекращается.

Представляет интерес рассмотрение влияния отклонения метеопараметров от их средних многолетних значений на некоторые морфологические реакции растений. Так, характерными чертами лета 1992, 1995, 1998, 1999 гг. являлись сравнительно жаркие и сухие июнь и июль. В период вегетации 1992 и 1995 гг. мы наблюдали образование второго прироста побегов у растений, привезённых из ГБС РАН, и из семян дальневосточного происхождения. Заморозки до $-4,3^{\circ}\text{C}$ (на почве $-7,4^{\circ}\text{C}$) в конце II декады сентября лишь незначительно повредили молодые зелёные листочки и верхушечную часть осевого стволика, линейный рост которого отмечали до середины сентября. В зимний период пострадала лишь верхушечная часть побегов единичных растений [16]. В 1998 и 1999 гг. на 5–6-летних сеянцах в конце вегетации (II и III декаде сентября) отмечали бутоны, которые развились из заложенных в текущем году генеративных почек. С наступлением первых морозов они погибли [23]. Образование второго прироста и бутонов мы наблюдали с установлением в августе после смены прохладной погоды в июле на аномально жаркую с температурой выше климатической нормы (максимальная температура превышала 34°C , а среднесуточная температура составляла $26\text{--}27^{\circ}\text{C}$), не типичной для феноритмов вида в естественных условиях обитания.

На сезонное развитие растений оказывают влияние не только погодные условия конкретного года, но и микроклиматическая обстановка. Так, наблюдениями 2009 и 2010 гг. установлено наступление листопада растений в пос. Зелёный с разницей в 12–14 дней, которую мы связываем с их произрастанием на равнинном пониженном участке рельефа, где в сентябре в утреннее время застаиваются холодные массы воздуха и образуются заморозки, ускоряющие начало осеннего листопада.

На сезонное развитие оказывают влияние также биологические особенности самих растений. Так, в 2009 году среди изученных биогрупп нами был выявлен поздноцветущий фенотип, а на ЭСП выделена тёмнолистная морфологическая форма, представленная пятью особями женского пола. В 2010 году эта биогруппа вступила в фазу цветения на 6–7 дней раньше остальных (1–2 июля) и к началу массового цветения большинство растений образовали завязи. Вступление в фазу генеративного развития большего числа растений совпало с установлением жаркой и засушливой погоды, что привело к сокращению продолжительности цветения отдельного цветка до 2–3 дней вместо обычных 4–5, а также вызвало опадение завязей. Плоды растений тёмнолистного морфотипа, несмотря на ранние сроки цветения, начали созревать в одинаковые с остальными кустами сроки (14–16 августа). В отличие от большинства растений, характеризующихся слабым урожаем либо отсутствием плодов, группа особей тёмнолистной формы отличалась хорошим урожаем и достаточно высокой завязываемостью плодов.

Выводы.

1. Климатические условия Республики Марий Эл отличаются от таковых в естественном ареале элеутерококка колючего меньшим количеством тепла и осадков, особенно во второй половине лета – начале осени, и большей продолжительностью солнечного сияния в летние месяцы.

2. Фазы разverzания почек, облиствления и начала роста побегов, цветения и созревания плодов элеутерококка колючего в Марий Эл и в естественном ареале отмечаются почти в одинаковые сроки. Продолжительность цветения в условиях интродукции при близких значениях календарных дат начала фенофазы несколько «сжата», что объясняется тёплой сухой погодой в Марий Эл. Средняя продолжительность вегетационного периода составляет 152 дня, что на 11–15 дней меньше, чем в естественных условиях обитания.

3. Сезонное развитие растений элеутерококка зависит от погодных условий конкретного года, обуславливающих изменчивость сроков наступления и продолжительности различных фенофаз, которая составляет от 17 до 31 дня. Наибольшей величиной изменчивости характеризуется продолжительность периода вегетации растений, начала цветения и роста побегов, а наименьшей – дата фазы опадения листьев, разverzания почек и созревания плодов.

4. Элеутерококку колючему в условиях интродукции присущ феноритмотип «растения, рано начинающие и рано оканчивающие вегетацию».

5. Связь между датами наступления фенофаз и суммой накопленных эффективных температур на это время очень слабая или даже практически отсутствует, что указывает на независимость этих переменных. Данный парадокс объясняется как определенной инерционностью растений по отношению к температуре, не успевающих быстро переадаптироваться в ответ на изменения этого фактора, так и замедлением течения физиологических процессов при слишком высокой температуре.

6. Между сроками наступления различных фенофаз в большинстве случаев нет полной сопряженности, т.е. по наступлению одной фазы нельзя достоверно определить сроки наступления последующих. Между фенодатами начала вегетации, а также начала цветения и общим временем вегетации наблюдается тесная обратная связь, свидетельствующая о том, что чем раньше наступает весна в Марий Эл, тем дольше у растений продолжается активный период, и наоборот.

7. На сезонное развитие растений оказывают влияние не только погодные условия конкретного года, но также микроклиматическая обстановка и биологические особенности самих растений. Выявленная нами тёмнолистная морфологическая форма растений, отличающаяся ранними сроками цветения, представляет интерес для селекционной работы на семенную продуктивность.

8. Элеутерококк колючий в условиях Республики Марий Эл характеризуется высокой зимо-, заморозко- и засухоустойчивостью. Завершенность сезонного развития его растений, отмеченная в условиях интродукции, формирование плодов и жизнеспособных семян позволяют констатировать, что вид успешно акклиматизируется к условиям умеренного континентального климата Среднего Поволжья и с учетом лекарственной и декоративной ценности является перспективным для хозяйственного использования.

Список литературы

1. Деревья и кустарники СССР: дикорастущие, культивируемые и перспективные для интродукции: в 6 томах / под ред. С. Я. Соколова. – М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1960. – Т. 5. – С. 177–178.

2. Фармакопейная статья ФС 42-2725-90 «Корневище и корень элеутерококка колючего». – Изд. официальное. – 6 с.
3. Гутникова, З. И. Некоторые биологические особенности элеутерококка колючего и его естественные запасы / З. И. Гутникова // Итоги изучения элеутерококка в Советском Союзе. – Владивосток, 1966. – С. 9–11.
4. Фори, О. Д. Распространение и запасы элеутерококка колючего в лесах Южного Приморья // Растительные ресурсы. – 1968. – Т. IV. – Вып. 1. – С. 24–28.
5. Воробьёва, П. П. Отношение элеутерококка колючего к свету / П. П. Воробьёва, А. Х. Чуян // Итоги изучения элеутерококка в Советском Союзе. – Владивосток, 1966. – С. 15–16.
6. Коляда, А. С. К вопросу охраны дальневосточных представителей семейства Araliaceae / А. С. Коляда // Материалы конференции, посвященной 50-летию Ботанического сада-института ДВО РАН. – Владивосток: Дальнаука, 1998. – С. 264–266.
7. Сацыперова, И. Ф. Проект общесоюзной программы исследования по интродукции лекарственных растений / И. Ф. Сацыперова, А. М. Рабинович // Растительные ресурсы. – 1990. – Т. 26. – Вып. 4. – С. 587–597.
8. Куркин, В. А. Флаванойды и венилпропаноиды – перспективные биологические активные соединения лекарственных растений / В. А. Куркин // Химия и технология растительных веществ: Тез. докл. V Всеросс. научн. конф. – Сыктывкар–Уфа, 2008. – С. 44.
9. Маланкина, Е. Л. К вопросу об интродукционном изучении ряда восточноазиатских видов растений, используемых в медицине / Е. Л. Маланкина, А. Н. Цицилин // Материалы конференции, посвященной 50-летию Ботанического сада-института ДВО РАН. – Владивосток: Дальнаука, 1998. – С. 195–196.
10. Паутова, И. А. Некоторые итоги интродукции растений-адаптогенов в коллекции питомника полезных растений Ботанического сада Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН / И. А. Паутова // Биологическое разнообразие. Интродукция растений (материалы Четвёртой Международной научной конференции, 5–8 июня 2007 г., г. Санкт-Петербург). – СПб.: Ботанический сад Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН, 2007. – С. 336–338.
11. Розно, С. А. Итоги интродукции древесных растений в лесостепи Среднего Поволжья / С. А. Розно, Л. М. Кавеленова. – Самара: изд-во «Самарский университет», 2007. – 228 с.
12. Разумников, Н. А. Элеутерококк колючий в Республике Марий Эл / Н. А. Разумников // Лесной журнал. – 2004. – № 4. – С. 22–37.
13. Разумников, Н. А. Изменчивость элеутерококка колючего в интродукционных культурах Республики Марий Эл: диссертация на соис. уч. степ. канд. наук / Н. А. Разумников. – Йошкар-Ола, 1997. – 214 с.
14. Разумников, Н. А. Опыт создания плантации *Eleutherococcus senticosus* Rupr. et Maxim. в Республике Марий Эл / Н. А. Разумников, О. Н. Бажин // Нива Поволжья. – 2010. – № 1. – С. 90–94.
15. Большая российская энциклопедия. В 30 т. – М.: Изд-во «Энциклопедия», 2005. – Т. 1. – С. 340.
16. <http://www.meteo.ru/weather/> (дата обращения 20.10.2010).
17. Кобышева, Н. В. Климат России / Н. В. Кобышева, Е. М. Акентьева, Э. Г. Богданова и др. – СПб.: Гидрометеиздат, 2001. – 655 с.
18. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах. – М.: ГБС, 1975. – 27 с.
19. Зайцев, Г. Н. Оптимум и норма в интродукции растений / Г. Н. Зайцев. – М.: Наука, 1983. – 127 с.
20. Латин, П. И. Сезонный ритм развития древесных растений и его значение при интродукции / П. И. Латин // Бюллетень Главного ботанического сада. – 1967. – Вып. 65. – С. 13–18.
21. <http://feniigim.narod.ru/klimat.htm> (дата обращения 25.10.2010).
22. Чашухина, А. А. Фенологические наблюдения над декоративными древесными и кустарниковыми растениями Ботанического сада (1957–1960 гг.) / А. А. Чашухина // Деревья, кустарники, многолетники для озеленения юга Дальнего Востока. – Владивосток: Приморский полиграфический комбинат, 1970. – С. 114–124.
23. Супрунов, Н. И. Некоторые биоэкологические особенности свободнойгодника колючего и его запасы на Советском Дальнем Востоке / Н. И. Супрунов, Т. П. Самойлов // Растительные ресурсы. – 1970. – Вып. 3. – Т. VI. – С. 328–336.
24. Разумников, Н. А. Изменение прохождения феноритма как элемент адаптации элеутерококка колючего в условиях интродукции / Н. А. Разумников, М. М. Котов // Проблемы лесоводства и лесовосстановления на Алтае: Тез. докл. – Барнаул: Алтайск. гос. ун-т, 2001. – С. 88–90.

Статья поступила в редакцию 25.10.10.

N. A. Razumnikov, I. N. Razumnikov

**REGULARITIES OF ELEUTHEROCOCCUS SENTICOSUS
SEASONAL DEVELOPMENT IN MARI EL REPUBLIC**

As a consequence of a 15-year study of introduced crops of eleuterococcus senticosus in Mari El Republic, the regularities of eleuterococcus senticosus adaptation to moderate continental climate, which differs from the natural for this plant monsoon climate, are stated. Adaptive reactions of the plants to abnormal climatic conditions deviation in certain years are detected.

Key words: *eleutherococcus senticosus, introduced crop, climate, acclimatization, adaptation, phenology.*

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

E-mail: RazumnikovNA@marstu.net

РАЗУМНИКОВ Иван Николаевич – студент факультета лесного хозяйства и экологии МарГТУ. Область научных интересов – интродукция и биохимия растений. Автор шести публикаций.

E-mail: RazumnikovNA@marstu.net

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

УДК 630:001

**ВАСИЛИЙ ИВАНОВИЧ СУХИХ – ЛЕСОВОД
И ОРГАНИЗАТОР НАУКИ**

В 2010 году перестало биться сердце Василия Ивановича Сухих – ученого и организатора науки и производства, широко известного в России и за рубежом, доктора сельскохозяйственных наук, профессора, заслуженного лесовода РСФСР, заслуженного инженера России, Лауреата Премии Правительства России в области науки и техники, действительного члена Российской и Международной инженерных академий, Российской академии космонавтики имени К. Э. Циолковского и Российской академии естественных наук, внесшего большой вклад в развитие теории и практики лесоустройства и аэрокосмических методов в лесном хозяйстве.

В. И. Сухих родился в 1932 году в г. Шахунья Горьковской (Нижегородской) области в рабочей семье. После окончания в 1950 году средней школы он поступил на лесохозяйственный факультет Ленинградской лесотехнической академии.

Успешно окончив в 1955 году академию, Василий Иванович был направлен на работу в г. Горький (Нижний Новгород) в Волжско-Камский лесоустроительный трест (с 1961 года – Поволжское лесоустроительное предприятие). Таксатор, начальник лесоустроительной партии, начальник фотограмметрической партии, главный инженер экспедиции, начальник производственного отдела и главный инженер лесоустроительного предприятия. Находясь в начале своего трудового пути в среде высококвалифицированных специалистов старшего поколения (В. И. Грибанов, Ю. Н. Полянский, Е. И. Лимонов, П. А. Смирнов, В. П. Федоров, М. И. Клушин, Н. М. Александровский, П. И. Курзин и многие другие), Василий Иванович прошел хорошую жизненную и профессиональную подготовку и сформировался как высококвалифицированный специалист, технический руководитель, исследователь и организатор производства.

Во время работы в Поволжском предприятии он активно участвовал в работах по устройству лесов Поволжья, Урала, Восточной Сибири, разработке проектов организации и развития лесного хозяйства, генеральных схем комплексного развития лесного хозяйства и лесной промышленности. Особое внимание он как технический руководи-

тель предприятия уделял совершенствованию научных основ и техники полевых и камеральных лесоинвентаризационных работ, лесоустroительного проектирования, развитию нормативной базы лесоустroительства. В своей работе В. И. Сухих широко использовал отечественные и зарубежные достижения, поддерживал тесные контакты с ведущими учеными-лесоустroителями страны (Г. Г. Самойлович, Н. П. Анучин, А. А. Байтин, К. Е. Никитин, Б. П. Колесников, М. И. Гальперин, А. Г. Мошкалев, Е. П. Смолоногов, П. М. Верхунов и многие другие), техническими руководителями и специалистами других лесоустroительных предприятий, аппарата ВО «Леспроект», Минлесхоза РСФСР и Гослесхоза СССР, учеными и специалистами других министерств и ведомств.

Под руководством Г. Г. Самойловича в процессе учебы в заочной аспирантуре (1961–1965 гг.) Василием Ивановичем Сухих была разработана и внедрена в предприятиях ВО «Леспроект» новая технология инвентаризации лесов на основе рационального сочетания наземных работ с камеральным дешифрированием цветных спектральных аэрофотоснимков как в таежных лесах, так и в зоне интенсивного ведения лесного хозяйства. При его активном участии были освоены и внедрены в производство технология составления лесоустroительных планшетов на основе уточненных фотосхем, усовершенствован цикл картосоставительских работ. Это позволило впервые в лесоустroительной практике страны разработать и внедрить технологию механической окраски планов лесонасаждений, выполнить большой цикл работ по внедрению в производство электронно-вычислительной техники с параллельной разработкой программного обеспечения и пр.

Под руководством В. И. Сухих в начале 70-х гг. были разработаны основные положения организации и ведения лесного хозяйства областей и республик Поволжья и Урала. В процессе работы над ними составлены местные таблицы хода роста и товарной структуры насаждений основных лесобразующих пород для всех областей и автономных республик зоны работы предприятия, обоснованы и приведены в соответствие со структурой насаждений возрасты рубок главного пользования. Разработаны рекомендации по проведению в Поволжье и на Урале комплекса лесохозяйственных мероприятий с учетом почвенно-типологических и экономических условий. Подготовлены усовершенствованные нормативно-технические и справочные материалы. Это позволило повысить уровень, качество и эффективность всех циклов лесоустroительного производства. В результате нововведений под техническим руководством Василия Ивановича Поволжское предприятие выдвинулось в конце 1960-х гг. в лидирующее в системе ВО «Леспроект».

С 1972 по 1988 гг. В. И. Сухих работал в г. Москве в ВО «Леспроект» заместителем начальника объединения по научной работе и руководил Научно-исследовательской частью (НИЧ). Возглавляя НИЧ и осуществляя научное руководство на отраслевом уровне по проблеме использования средств космической техники в лесном хозяйстве, Василий Иванович обеспечил успешное выполнение поставленных правительством страны перед Гослесхозом СССР и ВО «Леспроект» задач. В повседневной работе ему оказывали поддержку и всестороннюю помощь руководители Гослесхоза СССР (Г. И. Воробьев, В. А. Николаюк, Л. Е. Михайлов, С. Г. Сеницын и др.) и ВО «Леспроект» (П. И. Мороз, В. М. Павлов, И. В. Головихин, Н. Н. Гусев, Е. С. Демидов), руководители и специалисты лесоустroительных предприятий.

В это время НИЧ совместно с лесоустroительными предприятиями и при непосредственном участии Василия Ивановича выполнялись большие и разносторонние теоретические, экспериментальные, методические и технологические работы по проблеме дистанционного зондирования лесов. Были обоснованы и разработаны тактико-

технические требования к средствам дистанционного зондирования лесов из космоса, развита теория дешифрирования материалов аэрокосмических съемок, в том числе автоматизированная, разработаны компьютерные технологии составления планово-картографических материалов, создания совмещенных баз картографических и таксационных данных (прообразов современных ГИС). На основе данных работ был разработан целый комплекс аэрокосмических методов и технологий разностороннего изучения лесных экосистем и оценки их состояния.

За выполнение исследований и применение новых средств дистанционного зондирования Земли из космоса В. И. Сухих был награжден орденом Знак Почета.

Под его научным руководством в полевых изысканиях на территории Монголии в 1978–1981 гг. на основе дешифрирования космических снимков была составлена карта лесов Монгольской Народной Республики в масштабе 1:1 000 000, которая получила высокую оценку директивных органов страны. В. И. Сухих за данную работу награжден Почетной грамотой Правительства МНР.

В. И. Сухих еще в середине 80-х гг. обосновал структуру и научно-методическую и техническую основу комплексной системы аэрокосмического мониторинга лесов, элементы которой создавались в стране. Комплекс выполненных им теоретических и прикладных работ по проблеме изучения лесов и оценки их состояния на основе использования средств космической техники стал основой его докторской диссертации, успешно защищенной в Институте леса и древесины СО АН СССР в 1984 году. Этими работами в стране было открыто научное направление в изучении лесов и управлении лесными ресурсами страны на новой научно-методической и технической базе.

В период работы в НИЧ В. И. Сухих (70–80-е гг.) принимал активное участие в предполетной тематической подготовке космонавтов в Центре подготовки космонавтов и в Центре управления полетами, во время учебных полетов на специальном самолете-лаборатории по маршруту Москва–Владивосток, в организации и сопровождении в Центре управления полетами космовизуальных наблюдений космонавтами в целях изучения лесных экосистем, обнаружения лесных пожаров и слежения за их динамикой. Среди его слушателей были космонавты В. А. Ляхов, Л. И. Попов, В. В. Лебедев, В. В. Рюмин, Г. В. Титов, А. П. Александров и др. В процессе работ он контактировал с директором Центра подготовки космонавтов Г. Т. Береговым, его заместителями П. И. Климуком, П. Р. Поповичем, А. В. Филипченко, космонавтами В. В. Аксеновым, В. Д. Зудовым, В. В. Коваленком, В. П. Савиных и др. Им совместно с космонавтами подготовлен и опубликован по данной проблеме ряд статей, разработана и утверждена в 1986 году Минлесхозом РСФСР и согласована с Центром подготовки космонавтов им. Ю. А. Гагарина «Методика организации и проведения космовизуальных наблюдений в целях охраны лесов от пожаров».

Наряду с проблемой, связанной с применением средств космической техники для изучения природных ресурсов Земли, НИЧ выполнен большой объем научно-исследовательских разработок по применению математических методов, моделирования, электронно-вычислительной техники в планировании лесного хозяйства, лесоустроительном проектировании, при обработке лесоустроительной информации, разработке нормативных документов, создании банка данных таксационных и таксационно-дешифровочных пробных площадей и пр. Большинство разработок было внедрено в лесоустроительное производство. В 1989 году Василий Иванович принял участие в разработке и создании автоматизированного банка данных лесоустроительной информации для учебных целей в Марийском политехническом институте.

Работами НИЧ интересовались многие крупные советские и зарубежные ученые, среди которых Президент АН СССР А. П. Александров, который вместе с академиком

В. А. Легасовым, директором Курчатовского центра, посетили НИЧ, ознакомились с ее исследованиями и используемым уникальным оборудованием и одобрительно отнеслись к ее разработкам.

Тематика научных исследований в НИЧ получила высокую оценку со стороны правительства, научной и технической общественности, зарубежных ученых и специалистов. Учитывая значительные достижения НИЧ в области применения дистанционных методов при изучении лесов и оценке их состояния, директивными органами страны и Секретариатом Организации Объединенных Наций было принято решение о проведении на базе НИЧ трех международных учебных семинаров соответственно для англо-франко- и испаноговорящих стран. Такие трехнедельные семинары были проведены ВО «Леспроект» под научным руководством В. И. Сухих в г. Москве в 1984, 1986 и 1987 гг. для представителей более чем 50 стран Африки, Южной и Центральной Америки, Азии и некоторых стран Южной и Центральной Европы.

С 1988 по 1992 гг. В. И. Сухих работал заместителем Председателя Государственного комитета СССР по лесу, созданного на базе бывшего Гослесхоза СССР (Председателем был академик А. С. Исаев), возглавляя блок лесного комплекса, объединяющего научные и производственные проблемы лесоустройства, учета лесного фонда, лесопользования, лесопромышленной и иной хозяйственной деятельности лесохозяйственных предприятий страны.

Под руководством В. И. Сухих были осуществлены три крупномасштабные и высокоэффективные комплексные научные экспедиции, не имеющие аналогов ни у нас в стране, ни за рубежом: в 1989 году по Дальневосточному экономическому району (Приморский и Хабаровский края, Амурская, Камчатская, Магаданская, Сахалинская области), в 1990 году – по всем республикам Средней Азии и Казахстану и в 1991 году – по Западной Сибири (Томская и Тюменская области). В экспедициях принимали активное участие ученые и специалисты, в том числе руководители столичных и региональных организаций Госкомлеса СССР, лесохозяйственных органов союзных республик, Минлеспрома СССР, Академии наук СССР и академий союзных республик и других ведомств, депутаты Верховного Совета СССР, депутаты и представители органов власти союзных республик, краев, областей, административных районов, общественность, пресса. На основе ознакомления с объектами лесопромышленной и лесохозяйственной деятельности, с состоянием и динамикой лесов, проходившего непосредственно в лесу, в рабочих поселках, на обширных и бурно проходящих совещаниях в областных центрах, освещавшихся в местной, республиканской и союзной печати и средствах электронной информации, была дана всесторонняя оценка состояния лесов, методов и уровней организации и ведения лесного хозяйства, лесопользования, воспроизводства лесов, побочных пользований, методов управления отраслями. Были разработаны предложения по развитию многоцелевого лесного хозяйства и лесопользования в вышеназванных регионах, разработаны конкретные планы мероприятий, рассмотренные и одобренные коллегией Госкомлеса СССР. Об итогах экспедиций и принятых решениях были поставлены в известность правительства страны и союзных республик и Минлеспром СССР. В 1992 году намечалось провести подобную научную экспедицию по Восточной Сибири, но распад СССР не позволил осуществиться намеченным планам и довести наработки предыдущих экспедиций до их логического завершения.

В 1992 году В. И. Сухих перешел на научную работу во вновь созданный Международный институт леса (МИЛ), где он в 1992–2000 гг. занимал должность заместителя директора по научной работе. Одновременно все эти и последующие годы он работал главным научным сотрудником в Центре по проблемам экологии и продуктивности ле-

сов РАН (ЦЭПЛ РАН), а с 2003 года – по совместительству профессором кафедры лесной таксации и лесоустройства Марийского государственного технического университета.

Являясь сотрудником и профессором ЦЭПЛ РАН, МИЛ, МарГТУ, Василий Иванович продолжал развитие дистанционных методов изучения лесов и оценки их состояния. Он уделял большое внимание разработке и осуществлению комплексных исследований лесов средствами аэрокосмической техники нового поколения с использованием геоинформационных технологий в рамках подготовленных при его участии проектов Российского, Французского и Американского космических агентств, Миннауки, Минприроды РФ, Рослесхоза, РАН, ГКНПЦ им. М. В. Хруничева и др.

В. И. Сухих на протяжении многих лет вел активную работу по научно-техническому сотрудничеству с учеными и организациями многих зарубежных стран, в многочисленных зарубежных поездках в страны Западной и Центральной Европы, Северной и Южной Америки, Азии знакомился с лесами, методами организации и ведения лесного хозяйства, лесоустройством, применением дистанционных методов для изучения лесов и других природных ресурсов. Он возглавлял секцию VII Национального комитета фотограмметристов СССР, активно участвуя в работе Международного фотограмметрического общества, его конгрессах и симпозиумах (Банф – Канада, Гамбург – ФРГ, Венеция – Италия, СССР, ГДР). В 1988–1991 гг. был сопредседателем рабочей группы по сотрудничеству в области лесного хозяйства СССР и Финляндии. Он был также членом рабочей группы по сотрудничеству в области применения средств космической техники в целях исследования природных ресурсов Земли СССР и Финляндии. В 1985 году Василий Иванович участвовал в составе Правительственной делегации СССР в юбилейных мероприятиях в Хельсинки, посвященных 20-летию научно-технического сотрудничества СССР и Финляндии, где выступил с основным докладом по проблеме исследования природных ресурсов Земли с помощью средств космической техники. Он участвовал во многих международных конгрессах, конференциях, симпозиумах, рабочих совещаниях, читал лекции на международных семинарах, проводившихся в стране и за рубежом по линии ООН, ЮНЕП, ГКНТ СССР, Гослесхоза СССР, ГУГиК при СМ СССР, Министерства высшего образования СССР, АН СССР и др. По его инициативе и под его научным руководством организовано и проведено пять всероссийских (с международным участием) конференций по применению дистанционных методов и ГИС-технологий в лесном хозяйстве и лесоведении (1993 год – в Нижнем Новгороде, 1998, 2002 и 2007 гг. – в г. Москве, 2008 год – в г. Йошкар-Оле).

Под руководством Василия Ивановича подготовлено и успешно защищено 12 диссертаций. Он оказывал методическую помощь преподавательскому составу ряда вузов страны, читал лекции студентам МарГТУ.

В. И. Сухих автор более 300 работ, опубликованных у нас в стране и за рубежом. Он автор учебника для вузов «Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве» (2005 год), соавтор и редактор учебников для вузов «Лесная аэрофотосъемка и авиация» (1981, 1989 гг.), электронной версии учебного пособия для студентов вузов «Аэрокосмические средства и исследования лесных ресурсов на базе ГИС-технологий» (1999 год), монографий «Аэрометоды в лесоустройстве» (1977 год), «Аэрокосмические методы в охране природы и в лесном хозяйстве» (1979 год), «Дистанционные методы в лесном хозяйстве» (1989 год), «Аэрокосмический мониторинг лесов» (1991 год), соавтор монографий «Лесоустройство в СССР» (1981 год), «Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения» (1995 год), «Развитие инженерного дела в Москве. Исторические очерки» (1998 год), справочника «Общесоюзные нормативы для таксации леса» (1992 год), учебника «Лесоустройство» (2010 год), автор или соавтор серии карт, атла-

сов, методик и методических рекомендаций, технологий, брошюр, статей, опубликованных в отечественных и зарубежных изданиях.

За достижения в научно-производственной деятельности В. И. Сухих присуждена премия Правительства РФ в области науки и техники и присвоено звание Лауреата этой Премии и звание «Заслуженный лесовод РСФСР», он награжден пятью правительственными наградами, Золотой и Серебряной медалями и Дипломом Почета ВДНХ СССР, Почетной грамотой Правительства МНР. Российская академия естественных наук наградила его почетной медалью «За научное открытие» им. П. Л. Капицы, а Российская инженерная академия – двумя юбилейными медалями и присвоила ему почетное звание «Заслуженный инженер России». Он отмечен также многими грамотами, медалями и знаками отличия Гослесхоза СССР, Рослесхоза, ВО «Леспроект», ЛТА им. С. М. Кирова, РАН, Федерации космонавтики СССР, Секретариата ООН, ЮНЕСКО и др.

Работая на кафедре лесной таксации и лесоустройства МарГТУ, Василий Иванович вел семинарские занятия, читал лекции по дисциплине «Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве», являлся научным руководителем аспирантов и магистров.

За последние 10 лет Василий Иванович подготовил два учебника для студентов, обучающихся по специальности «Лесное хозяйство». Он вел активную научную и педагогическую деятельность, передавал свой богатый научный и производственный опыт молодежи. А значит, его идеи будут воплощаться в реальные дела.

Коллеги, друзья, ученики, все, кто был знаком с Василием Ивановичем, относились к нему с глубоким уважением как к мастеру лесного дела, товарищу, труженику, скромному и принципиальному человеку.

Светлая память о Василии Ивановиче Сухих всегда будет жить в наших сердцах.

В. Л. Черных, В. М. Жирин

Статья поступила в редакцию 12.11.10.

VASILY IVANOVICH SUKHIKH – FORESTER AND SCIENCE ORGANIZER

Forestry and forest science lost the scientist and the organizer of science and production, who was well known both in Russia and abroad. He was the doctor of Agricultural sciences, professor, distinguished forester of RSFSR, distinguished engineer of the RF, Award winner of the government of Russia in the sphere of science and technology, full-fledged member of Russian and International engineering academies, Russian Tsiolkovsky academy of astronautics and Russian academy of natural sciences, who brought in a substantial contribution in the development of the theory and practice of forest tenure and aerospace methods in forestry.

V. L. Chernykh, V. M. Zhirin

ЧЕРНЫХ Валерий Леонидович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. кафедрой лесной таксации и лесоустройства МарГТУ. Область научных интересов – информационные и ГИС-технологии в лесном хозяйстве, лесная таксация и лесоустройство. Автор более 250 публикаций.

E-mail: ChernyhVL@marstu.net

ЖИРИН Василий Михайлович – доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией продуктивности и биосферных функций леса Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН. Область научных интересов – дистанционное зондирование Земли, лесная таксация и лесоустройство. Автор более 100 публикаций.

E-mail: nlm@smt.ru

УДК 630*.3(092)

ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ ВЕНЦЕНОСЦЕВ

9 октября 2010 года перестало биться сердце замечательного человека – Юрия Николаевича ВЕНЦЕНОСЦЕВА – заслуженного деятеля науки и техники МАССР, профессора, бывшего декана лесоинженерного и первого декана механического факультета, которого хорошо знали не только в МарГТУ, но и в других лесотехнических вузах России и за рубежом.



Ю. Н. Венценосцев родился 26 июня 1926 года в селе Мари-Билямор Мари-Турекского района Марийской автономной области в семье учителя. Семья принадлежала к передовым русским интеллигентам: отец Николай Петрович – руководитель школьного городка в Мари-Билямо, мать Анастасия Георгиевна – учительница начальных классов. Уровень воспитания сыновей Льва, Владимира и Юрия в семье сельских учителей был высоким как в общеобразовательном, так и в нравственном отношении. Духовные ценности, полученные Ю. Н. Венценосцевым в школьные годы, сыграли огромную роль в его последующей жизни.

Получив среднее образование, он в 1943 году поступил сначала в Казанский авиационный институт, а затем, в 1946 году, в Поволжский лесотехнический институт им. М. Горького, который с отличием окончил в 1948 году по специальности «Механизация лесозаготовок и транспорта леса».

Как отличник учебы Ю. Н. Венценосцев был оставлен в институте в качестве ассистента кафедры механизации и организации лесоскладского хозяйства. В 1950 году молодой исследователь был направлен в годичную аспирантуру Московского лесотехнического института для подготовки кандидатской диссертации. Следует отметить, что способность к научно-исследовательской работе он проявил, будучи еще студентом. В 1952 году, на основании защиты диссертации «Исследование возможностей повышения производительности цепных пил при данной мощности их двигателя», ему присуждена ученая степень кандидата технических наук.

Став ученым и преподавателем, Юрий Николаевич не только продолжил благородное дело своих родителей, но и творчески переосмыслил процесс обучения, приобщая студентов лесоинженерного факультета к высокой культуре. Цель обучения он видел в том, чтобы приобщить студентов к творческой деятельности. Он читал для студентов разноплановые лекции по деталям машин и грузоподъемным машинам на технологических и механических специальностях, а по механизации лесоразработок – на лесоинженерных специальностях. Как вспоминают бывшие студенты института, лекции Ю. Н. Венценосцева увлекали слушателей, отличались насыщенностью материала, доходчивостью изложения, свидетельствовали о высокой эрудиции лектора. Он умел думать вместе с аудиторией, иногда превращая лекцию из монолога в диалог. В 1952 году талантливого ученого избрали старшим преподавателем кафедры механизации лесоразработок и помощником декана, а затем, в 1955 году, – деканом лесоинженерного факультета Поволжского лесотехнического института (ПЛТИ).

Вся его жизнь была тесно связана с ПЛТИ, в развитие которого он внес значительный вклад. Организаторскую работу в этом плане он считал своим «звездным часом». В 1958 году Ученый совет ПЛТИ избрал Ю. Н. Венценосцева заведующим кафедрой начертательной геометрии и графики, а год спустя – первым деканом механического факультета. Механический факультет стал основой преобразования лесотехнического института в политехнический. Студенты любили и уважали своего декана, их поражала эрудиция Юрия Николаевича. Он был принципиальным и требовательным к студентам, но вместе с тем относился к ним с большим уважением.

Административная работа в деканате отнимала много рабочего времени, но Юрий Николаевич ни на минуту не оставлял свои научные устремления. В 1962 году он переходит в старшие научные сотрудники для завершения работы над докторской диссертацией «Теоретические основы лесопромышленных производств». В 1964 году Минвуз СССР разрешил Ю. Н. Венценосцеву научное руководство аспирантами по специальности «Машины, механизмы и технология лесоразработок, лесозаготовок и лесного хозяйства». Под его руководством защищены четыре диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, им опубликованы 65 научных и методических работ. Он имеет 15 конструкторских разработок, подтвержденных удостоверениями о регистрации Государственным комитетом по делам изобретений и открытий при Совете Министров СССР. Основным направлением научной школы Ю. Н. Венценосцева было теоретическое исследование связей отдельных аспектов лесопромышленного развития: техники, технологии, организации и экономики лесопромышленного производства. Интересным и важным разделом его научного направления являлись работы, в которых он стремился философски осмыслить лесную проблематику, в частности, методологические вопросы лесопромышленной оптимизации. Его доклад в Институте философии АН СССР вызвал большой интерес, в результате обсуждения которого было предложено автору издать монографию о научном отражении объективной действительности в лесной области.

В 1959 году Ю. Н. Венценосцева снова избирают деканом лесоинженерного факультета, а в 1975 году – заведующим кафедрой механизации лесоразработок, где он проработал 12 лет. В этот период на кафедре формируется комплексное научное направление, связанное с оптимизацией производственных лесозаготовительных процессов лесной промышленности. В результате целеустремленной и планомерной работы по укреплению кадров 90% преподавательского состава кафедры получили ученые степени и звания. На протяжении 10 лет кафедра машин, технологии и проектирования лесопромышленных производств под руководством Юрия Николаевича стала передовым коллективом института с современной лабораторной базой и сложившимися традициями. В 1982 году Ученый совет МарПИ избрал Ю. Н. Венценосцева профессором кафедры МТПЛ.

Ю. Н. Венценосцев активно участвовал во всесоюзных и республиканских научно-производственных конференциях и совещаниях по узловым вопросам лесопромышленного развития и в межведомственных комиссиях по испытаниям новой лесозаготовительной техники. Был членом секции координационного совета при ЦНИИМЭ, 13 лет – членом секции научно-технического совета Министерства высшего образования СССР, постоянным участником полемических дискуссий по развитию лесопромышленной отрасли в Марийской республике, Волго-Вятском экономическом регионе и Российской Федерации.

Ю. Н. Венценосцев – не только большой специалист в области лесопромышленного производства, но и всесторонне развитый ученый. Он прекрасно разбирался в гуманитарных науках, таких, как история и философия. Он – человек широких творческих интересов: скульптор, художник, фотограф, музыкант – с нотного листа исполнял клас-

сические произведения Чайковского, Моцарта, Шопена, Бетховена. Он занимался пропагандой культуры и всегда считал своим долгом приобщать студентов к тому доброму, которое было близко ему: классической музыке, реалистическому изобразительному искусству, возвышенной литературе. В 1987 году профессор Н. А. Буденков, посетив персональную выставку художественно-творческих работ Ю. Н. Венценосцева, оставил в книге отзывов такую запись:

Ему и кисть, и мрамор, и резец,
И фотография давно подвластны.
Трудясь над образом, творец
Явил для всех пример прекрасный!

Ю. Н. Венценосцев активно участвовал в партийной и общественной работе: был секретарем комитета ВЛКСМ института (1947–1950 гг.), членом партийного бюро факультета и института, заместителем председателя методического совета института, проректором Йошкар-Олинского общественного университета технического прогресса, председателем секции общества «Знание», членом секции научно-технического совета Марийского СНХ, депутатом городского совета депутатов трудящихся.

Фамилия Юрия Николаевича, как одного из лучших пропагандистов, лекторов, активистов общественной работы была занесена на городскую Доску почета. Он награжден Почетной грамотой ЦК ВЛКСМ, медалью «За трудовую доблесть», Почетной грамотой Президиума Верховного Совета Марийской АССР, медалью «За трудовое отличие», нагрудным знаком «За отличные успехи в работе в области высшего образования СССР» и другими наградами. Ю. Н. Венценосцев – заслуженный деятель науки и техники Марийской АССР (1986 г.). Ассоциация выпускников и Попечительский совет МарГТУ, учредившие высшую награду своим любимым преподавателям – знак признания «Мудрость и честь», в 2010 году вручили ее Юрию Николаевичу Венценосцеву. Продолжатель династии русских просветителей-педагогов и высоконравственных интеллигентов Юрий Николаевич всю свою жизнь оставался Учителем с большой буквы. Таким Ю. Н. Венценосцев и останется навсегда в памяти всех, кто его знал.

Е. М. Романов, П. Ф. Войтко, Ю. А. Ширнин

Статья поступила в редакцию 20.10.10.

E. M. Romanov, P. F. Voïtko, Yu. A. Shirnin

YURI NIKOLAYEVICH VENTSENOSTSEV

On the 9-th of October, 2010 the heart of Yu.N. Ventsenostsev stopped beating. He was the Honoured Science and Technology worker of Mari El, professor, ex-dean of the Forest Engineering faculty and the first dean of the Mechanical faculty. He was a well known person not only in Mari State Technical University, but also in other Russian and foreign forestry engineering institutes.

РОМАНОВ Евгений Михайлович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ, ректор МарГТУ. Область научных интересов – искусственное лесовосстановление. Автор более 150 научных работ.

E-mail: RomanovEM@marstu.net

ВОЙТКО Петр Филиппович – доктор технических наук, профессор кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства, декан лесопромышленного факультета МарГТУ. Область научных интересов – использование лесных и водных ресурсов регионов РФ. Автор более 115 публикаций, в том числе двух монографий.

E-mail: VojtkoPF@marstu.net

ШИРНИН Юрий Александрович – доктор технических наук, профессор, зав. 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

УКАЗАТЕЛЬ МАТЕРИАЛОВ,
ОПУБЛИКОВАННЫХ
В ЖУРНАЛЕ В 2010 ГОДУ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

- Н. Н. Бессчетнова.** Сравнительная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной по содержанию крахмала в побегах
2
- А. А. Вайс.** Объемы пней сосны обыкновенной (*pinus sylvestris* L.) в условиях Средней Сибири
3
- А. А. Григорьев, П. А. Моисеев, З. Я. Нагимов.** Особенности формирования древостоев на верхнем пределе их произрастания в горах Приполярного Урала
3
- Ю. М. Дебринюк.** Фактическая и потенциальная продуктивность древостоев Украинского Расточья
2
- Ю. П. Демаков, Е. А. Медведкова.** Структура и динамика естественных лесных биогеоценозов Ботанического сада МарГТУ
1
- Ю. П. Демаков, М. Г. Сафин, Г. А. Богданов.** Лесорастительные условия верховых болот Марийского Полесья
3
- Н. В. Ерёмин, М. А. Карасёва, В. Н. Карасёв.** Агротехнические и физиологические аспекты успешности выращивания культур сосны кедровой сибирской в Республике Марий Эл
1
- К. К. Калинин.** Естественное лесовозобновление и формирование молодняков в еловых и березовых насаждениях на крупных гарях Среднего Заволжья
1
- А. Р. Касимов, А. Хильдебрандт, Ю. В. Обносов.** Влияние склонового леса Омана (регион Дофар), питаемого осадками из тумана, на подземный гидрологический режим: моделирование в масштабе корневой зоны
2
- Э. А. Курбанов, О. Н. Воробьев, А. В. Губаев, С. А. Лежнин, С. А. Незамаев, Т. Л. Александрова.** Оценка зарастания земель запаса Республики Марий Эл лесной растительностью по спутниковым снимкам
2
- А. А. Маленко, В. А. Усольцев.** Возрастное изменение фитомассы в разнотравных гнездовых культурах сосны Алтайского края и ошибки ее определения
3
- И. С. Нечаева, Н. А. Бабич.** Репродуктивные свойства сорных растений лесных питомников
2
- В. В. Пахучий.** Производительность леса в связи с изменением климата в Республике Коми
2
- В. В. Рубцов, И. А. Уткина.** Филлофаги лесных экосистем в условиях изменяющегося климата
3
- В. А. Усольцев, М. М. Семышев.** Продукционные характеристики с учетом конкуренции деревьев в искусственных и естественных сообществах: сравнительный анализ
2

LIST OF MATERIALS
PUBLISHED IN
MarSTU REPORTER IN 2010

FORESTRY

- N. N. Besschetnova.** Comparative estimation of starch content in the sprouts of scotch pine plus-trees
2
- A. A. Vais.** Pinus sylvestris l stumps size in middle siberia conditions
3
- A. A. Grigoryev, P. A. Moiseev, Z. Ya. Nagimov.** Peculiarities of forest stands formation at the upper bound of its growing in the mountains of the Nether-Polar Ural
3
- Yu. M. Debrinyuk.** Real and potential productivity of Ukrainian Roztochya forest stands
2
- Yu. P. Demakov, E. A. Medvedkova.** Structure and dynamics of MarSTU Botanical garden natural forest ecosystems
1
- Yu. P. Demakov, M. G. Safin, G. A. Bogdanov.** Forest vegetative conditions of Mari forest area upland and bogs
3
- N. V. Eremin, M. A. Karaseva, V. N. Karasev.** Agronomic and physiological aspects of successful siberian stone pine cultivation in Mari El Republic
1
- K. K. Kalinin.** Natural reforestation and young stocks formation in fir and birch plantations at the gross fires of the Central Volga region
1
- A. Kasimov, A. Hildebrandt, Yu. Obnosov.** Impact of the Dhofar cloud forest on subsurface hydrological fluxes: modelling on the scale of a near-root zone soil continuum
2
- E. A. Kurbanov, O. N. Vorobyev, A. V. Gubayev, S. A. Leznin, S. A. Nezamayev, T. L. Alexandrova.** Estimation of reforestation of Mari El Republic abandoned agricultural lands by satellite images
2
- A. A. Malenko, V. A. Usoltsev.** Biomass age change in pine plantations of different density nest-shapes pines in Altai Region and some errors in its definition
3
- I. S. Nechaeva, N. A. Babich.** Reproductive features of weed plants of the tree nurseries
2
- V. V. Pakhuchiy.** Forest productivity in connection with climate change in Komi Republic
2
- V. V. Rubtsov, I. A. Utkina.** Phyllophages in forest ecosystems under climate change conditions
3
- V. A. Usoltsev, M. M. Semyshev.** Production characteristics with taking into account tree competitiveness of artificial and natural pine forests: comparative analysis
2

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

В. А. Александров, О. Н. Бурмистрова, Н. Р. Шоль. О нагруженности силовой установки валочно-пакетирующей машины в режиме переориентирования ходовой системы

М. В. Боярский, О. Г. Тарасова. Анализ видов покоробленностей и способов их измерения

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

А. В. Егоров, С. В. Зверев. Инерционный метод оценки энергетической эффективности зубчатых редукторов машин лесного комплекса

А. В. Исаев, М. Г. Салихов. Стойкость щебеночно-мастичных асфальтобетонов с противоморозными добавками в агрессивной среде

А. Н. Чемоданов, Р. Х. Гайнуллин. Результаты исследования процесса продольного строгания древесины на шпон

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

В. И. Черныкевич. Ресурсосберегающая технология строительства лесных дорог

С. А. Чудинов. Исследование влияния технологических факторов на прочность цементогрунтов

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

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

О. Г. Введенский. Пути повышения эффективности работы рыбоходных сооружений в условиях циклического изменения уровней бьефов гидроузла

Ю. П. Демаков, М. Г. Сафин, Р. И. Винокурова, В. И. Таланцев, С. М. Швецов. Хвоя как индикатор состояния сосновых молодняков на олиготрофных болотах

А. В. Иванов, О. Г. Введенский, Е. Ф. Султанова. Конструкции и режимы работы рыбопропускных сооружений для приливных электростанций

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

Н. А. Разумников, М. И. Рябинин, Е. Н. Соломина. Урожайность и свойства плодов сортообразцов жимолости синей в Республике Марий Эл

FORESTRY TECHNOLOGIES AND MACHINES

V. A. Alexandrov, O. N. Burmistrova, N. R. Sholl. Felling-bunching machine power plant loading in the mode of running gear reorientation

M. V. Boyarsky, O. G. Tarasova. Analysis of the types of buckle and the ways of its measurement

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

A. V. Egorov, S. V. Zverev. Inertial method of forest complex machinery gear reducers energetic efficiency evaluation

A. V. Isayev, M. G. Salikhov. Durability of rubble and mastic asphalt concretes with antifreezing agents in corrosive environment

A. N. Chemodanov, R. Kh. Gainullin. Longitudinal planer wood veneer processes results

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

V. I. Chernyakevich. Resource-saving technology of forest roads construction

S. A. Chudinov. Research of influence of technology factors on soil cement durability

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

PROBLEMS IN ECOLOGY AND RATIONAL NATURE EXPLOITATION

O. G. Vvedensky. The ways of work efficiency growth of fish-passing constructions in the conditions of cyclic changes of hydroelectric complex reaches levels

Yu. P. Demakov, M. G. Safin, R. I. Vinokurova, V. I. Talantsev, S. M. Shvetsov. Needles as an indicator of a pine young growths condition on Mari woodlands oligotrophic moors

A. V. Ivanov, O. G. Vvedensky, E. F. Sultanova. Structures and conditions of work of fish facilities for tidal power stations

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

N. A. Rasumnikov, M. I. Ryabinin, E. N. Solomina. Crop capacity and qualities of *Lonicera caerulea* breed samples in Mari El Republic

Н. А. Разумников, И. Н. Разумников. Закономерности сезонного развития элеутерококка колючего в Республике Марий Эл

3

Е. М. Романов, Д. И. Мухортков, А. Д. Средин. Утилизация органических отходов при выращивании дернины для газонов

1

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

2

О. С. Соловьева, Н. А. Соколова, О. Н. Бажин, А. Р. Гусейнова. Зеленые насаждения как средство улучшения экологии города

1

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

С. А. Денисов. К 150-летию со дня рождения Леонида Ивановича Яшнова (1860–1936)

1

С. А. Денисов. Полезная книга

2

Е. М. Романов, П. Ф. Войтко, Ю. А. Ширнин. Памяти Юрия Николаевича Венценосцева

3

В. Л. Черных, В. М. Жури. Василий Иванович Сухих – лесовод и организатор науки

3

Информация о Международной конференции с элементами научной школы для молодежи «Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность, мониторинг и технологии по адаптации» (28 июня – 2 июля 2010 года, Йошкар-Ола)

1

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

2

N. A. Razumnikov, I. N. Razumnikov. Regularities of eleutherococcus senticosus seasonal development in Mari El Republic

E. M. Romanov, D. I. Mukhortov, A. D. Sredin. Organic waste utilization at the turf cultivation for the lawns

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

O. S. Solovyova, N. A. Sokolova, O. N. Bazhin, A. P. Gusseinova. Green plantings as a means of city ecology improvement

DATES. EVENTS. COMMENTS

S. A. Denisov. To the 150th Anniversary from the Birthday of Leonid Ivanovich Yashnov (1860–1936)

S. A. Denisov. Useful book

E. M. Romanov, P. F. Voitko, Yu. A. Shirnin. Yuri Nikolayevich Ventsenostsev

V. L. Chernykh, V. M. Zhirin. Vasily Ivanovich Sukhikh – forester and science organizer

Information about International conference with the elements of scientific school for the youth «Forest ecosystems in climate change conditions: biological productivity, monitoring and adaptation technologies» (June, 28 – July, 2 2010, Yoshkar-Ola)

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

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).