

СОДЕРЖАНИЕ

Лесное хозяйство

Обыдёнников В.И., Волков С.Н., Коротков С.А. <i>Эколого-географические аспекты лесоводственных систем</i>	6
Родин С.А., Калашникова Е.А. <i>Экологическое обоснование успешного роста лесных культур на песчаных землях полупустыни и песчано-ракушечных почвах степи</i>	17
Залесов С.В., Ражанов М.Р., Данчева А.В., Оплетаетев А.С. <i>Опыт интродукции древесно-кустарниковых растений в лесном питомнике «Ак Кайын»</i>	21
Рудковская О.А., Раевский Б.В., Ильинов А.А., Медведева М.В. <i>Сравнительная оценка биоразнообразия растительных сообществ низкогорий национального парка «Паанаярви»</i>	26
Румянцев Д.Е., Кухта А.Е., Пучинская Д.В. <i>Климатический сигнал засух в хронологии ели из кисличного типа леса Центрально-лесного заповедника</i>	36
Заварзин В.В., Лебедев А.В. <i>Форма и объем стволов кедра сибирского</i>	44
Пинаевская Е.А., Тарханов С.Н. <i>Изменчивость радиального прироста форм сосны (<i>Pinus Sylvestris L.</i>) с разным типом апофиза семенных чешуй</i>	53
Коновалов В.Ф., Насырова Э.Р. <i>Состояние и закономерности роста сосны обыкновенной на лесосеменных объектах республики Башкортостан</i>	60
Рудая О.А., Чернышенко О.В., Ефимов С.В., Кононов Г.Н. <i>Причины покоя семян некоторых видов рода <i>Раеonia L.</i></i>	66
Гиниятуллин Р.Х., Ибрагимова А.Х. <i>Интенсивность биологического поглощения тяжелых металлов в органах березы повислой (<i>Betula Pendula Roth.</i>) в условиях промышленного загрязнения</i>	74
Федотов Г.Н., Федотова М.Ф., Шалаев В.С., Батырев Ю.П. <i>Оценка возможности использования автолизатов в качестве препаратов-стимуляторов прорастания семян зерновых культур</i>	81
Котов А.А. <i>Неразрушающий метод исследования упругих свойств древесных растений</i>	91
Бутко Г.П., Запруднов В.И., Гречиц А.А., Тихонов Е.Д. <i>Эколого-экономическая система в контексте устойчивого развития сегментов лесного сектора региона</i>	98
Кулакова Е.Н., Чернышов М.П., Дегтярева С.И. <i>Совершенствование нормативно-правового и научно-методического обеспечения воспроизводства лесов</i>	106
Пинягина Н.Б., Горшенина Н.С., Назаренко Е.Б., Гамсахурдия О.В. <i>Тенденции и перспективы развития лесного сектора России</i>	112
Деревообработка и химические технологии	
Тамби А.А., Чубинский А.Н., Чаузов К.В., Кульков А.М. <i>Исследование клеевых соединений древесины</i>	120
Запруднов В.И. <i>Влияние пористого цементного камня на свойства древесно-цементного материала</i>	127

Логинова С.В., Латуга А.А. Модель структуры измельченной целлюлозы	132
Прошина О.П., Фахретдинов Х.А., Иванкин А.Н., Капустина Е.А. Формирование пропиточных систем с наночастицами для модификации свойств древесины	137

Лесоинженерное дело

Шадрин А.А., Васильев А.С., Костюкевич Н.Н., Катков С.А. Разработка математической модели лесобрабатывающего процесса при гибкой компоновке станков в технологическом потоке	145
Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Кондрашова Е.В., Арутюнян А.Ю. Проходимость комплексных трелевочно-транспортных систем на трелевочных волоках	152
Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В., Арутюнян А.Ю. Результаты исследования колееобразования на грунтовых усах лесовозных дорог	159
Никитин В.В., Козлов В.Г., Арутюнян А.Ю., Умаров М.М. Имитационная модель функционирования лесовозной автомобильной дороги	167
Алябьев А.Ф., Калинин С.Ю. Модель взаимодействия гусеницы трактора с грунтом	173

Математическое моделирование

Галактионов А.Ю. Численное решение одной дифференциальной игры качества	179
Полещук О.М. Определение рейтинговых оценок на основе семантических пространств	187
Сигалов И.Е. Об особенностях решений квазигиперболических уравнений	193
Серебренников П.С. Гетероструктура $Si/Si_{1-x}Ge_x$ как приемник ИК излучения	195
Бурков В.Д., Демин А.Н., Харитонов Н.А. Методика и аппаратура для контроля метрологических характеристик волоконно-оптических датчиков электрического тока на основе кристаллов с кубической симметрией $Bi_{12}SiO_{20}$ и $Bi_{12}GeO_{20}$	199
Соколов Н.Л., Орлов Д.А. Оптимальное управление КА при спуске в атмосфере Марса	205
Соколов Н.Л., Захаров П.А. Автономная идентификация параметров орбит потенциально опасных космических объектов бортовыми средствами	214

Образование

Никитин В.В., Шалаев В.С., Панферов В.И. Некоторые итоги мониторинга деятельности вузов лесотехнического профиля	225
Стаин Д.А., Часовских В.П. Модель образовательного процесса университета в среде технологии Интернет	233
Луценко Л.М., Луценко Ю.В. Проникновение идеологии экстремизма и терроризма в молодежную среду и меры адекватного противодействия	238
Головко Э.П. Ученый и время: мифы и реальность (Размышления по поводу двух юбилеев И.В. Мичурина: 160 лет со дня рождения, 80 – смерти)	244

CONTENTS

Forestry

Obydennikov V.I., Volkov S.N., Korotkov S.A. <i>Ecological and geographical aspects of the silvicultural systems</i>	6
Rodin S.A., Kalashnikova E.A. <i>Environmental background of forest plantation successful growth in semi-desert sand lands and steppe sand shelly lands</i>	17
Zalesov S.V., Razhanov M.P., Dancheva A.V., Opletaev A.S. <i>Experience of tree and shrub plants introduction in forest nursery «Ak Kayin»</i>	21
Rudkovskaya O.A., Raevsky B.V., Il'inov A.A., Medvedeva M.V. <i>Comparative biodiversity assessment of plant communities in low-mountain landscape of Paanajõrvi national park</i>	26
Rumyantsev D.E., Kuhta A.E., Puchinskaya D.V. <i>Climatical signal of droughts at the norway spruce chronology from oxalis acetosella site in Central forest reserve</i>	36
Zavarzin V.V., Lebedev A.V. <i>Shape and volume of Pinus Sibirica trunks</i>	44
Pinaevskaya E.A., Tarkhanov S.N. <i>Variability of radial growth of forms Pinus Sylvestris L. with different types of apophysis of seed scales</i>	53
Konovalov V.F., Nasyrova E.R. <i>State and growth regularities of scots pine forest seed at the objects of the republic of Bashkortostan</i>	60
Rudaya O.A., Cherednichenko O.V., Efimov S.V., Kononov G.N. <i>The reasons of seed dormancy of the species of the genus Paeonia L.</i>	66
Giniatullin R.H., Ibragimova A.H. <i>Intensity of biological absorption of heavy metals in bobbies of a birch (Betula Pendula Roth, the conditions of industrial pollution</i>	74
Fedotov G.N., Fedotova M.F., Shalaev V.S., Batyrev Y.P. <i>Estimation of the use autolysate as a germination seeds stimulant of cereal crops</i>	81
Kotov A.A. <i>Non-destroying method of research of elastic properties of trees plants</i>	91
Butko G.P., Zaprudnov V.I., Gresic A.A., Tikhonov E.D. <i>Eco-economic system in the context of sustainable development segments of the forest sector of the region</i>	98
Kulakova E.N., Chernyshov M.P., Diagtereva S.I. <i>Improvement of the regulatory and scientific and methodological support of reproduction of forests</i>	106
Pinyagina N.B., Gorshenina N.S., Nazarenko E.B., Gamsakhurdia O.V. <i>Trends and prospects forest sector Russia</i>	112

Wood processing and chemical technology

Tambi A.A., Chubinsky A.N., Chauzov K.V., Kulikov A.M. <i>Research of adhesive bond of wood</i>	120
Zaprudnov V.I. <i>Influence of the porous cement rock on wood-cement material properties</i>	127
Loginova S.V., Latuga A.A. <i>Structure model of ball-milled cellulose</i>	132

Proshina O.P., Fahretdinov H.A., Ivankin A.N., Kapustina E.A. *Formation of impregnation systems with nano particles to modification of the properties of wood* 137

Forest engineering

Shadrin A.A., Vasilev A.S., Kostyukevich N.N., Katkov, S.A. *Development of mathematical models of the forest processing process in a flexible arrangement of the machine in the process stream* 145

Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Kondrashova E.V., Harutyunyan A.J. *Logging permeability integrated transport systems on the skid trails information about authors* 152

Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Harutyunyan A.J. *Results of the study on soil rutting mustache forest roads* 159

Nikitin V.V., Kozlov V.G., Harutyunyan A.Y., Umarov M.M. *Simulation modeling of hauling road function* 167

Alyabiev A.F., Kalinin S.Yu. *The interaction model of the caterpillar tractor with the ground* 173

Math modeling

Galaktionov A.Yu. *The numerical solution of one differential game of quality* 179

Poleshchuk O.M. *Rating assessment on the basis of semantic spaces* 187

Sigalov I.E. *Singularities of solutions of quasi-hyperbolic equations* 193

Serebrennikov P.S. *Heterostructure $Si/Si_{1-x}Ge_x$ IR detector* 195

Burkov V.D., Damin A.N., Kharitonov N.A. *Method and apparatus for control of metrological characteristics of fiber-optical sensors of electric current on the basis of crystals with cubic symmetry $Bi_{12}SiO_{20}$ and $Bi_{12}GeO_{20}$* 199

Sokolov L.S., Orlov A.O. *Optimal control of spacecraft during descent in the Martian atmosphere* 205

Sokolov N.L., Zakharov P.A. *Autonomous identification of orbit parameters of potentially hazardous space objects by onboard assets* 214

Education

Nikitin V.V., Shalaev V.S., Panferov V.I. *Forest technical universities effectiveness monitoring* 225

Stain D.A., Chasovskikh V.P. *Model of the educational process in the university by the Internet technology environment* 233

Lutsenko L.M., Lutsenko Y.V. *Penetration of terrorism and extremism in the youth environment and adequate measures of opposition* 238

Golovko E.P. *Scientist and time: myths and reality (Thoughts inspired by Michurin's two anniversaries: 160 years from birth, 80 from death)* 244

ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛЕСОВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

В.И. ОБЫДЁННИКОВ, *проф. МГУЛ, д-р с.-х. наук*⁽¹⁾,

С.Н. ВОЛКОВ, *доц. МГУЛ, канд. биол. наук*⁽¹⁾,

С.А. КОРОТКОВ, *доц. МГУЛ, канд. биол. наук*⁽¹⁾

caf-lesovod@mgul.ac.ru, skorotkov@mgul.ac.ru, volkov@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет леса»

141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1

Лесоводственные системы, связанные с биологией, экологией и географией леса, в значительной мере зависят от этапов формирования типов леса после рубки. Важную роль в динамике леса играют рубки главного пользования (или рубки спелых и перестойных насаждений – по «Лесному кодексу Российской Федерации»). Наибольшее влияние на изменение качественного состояния лесной экосистемы оказывают сплошные рубки. Формирование типа леса после сплошной рубки определяется прежде всего (в пределах определенного региона) начальным состоянием лесной экосистемы (т. е. исходным типом леса) и характером воздействия рубки на неё. Воздействие сплошной рубки можно разделить на регулируемое (воздействие лесозаготовительной техники на почву, подрост и другие компоненты леса) и нерегулируемое (влияние измененной интенсивной солнечной радиации после удаления древостоя). Последнее влияние (нерегулируемое) связано с географической средой. Исходный тип леса и влияние рубки являются причиной, а этапы формирования леса после рубки – следствием. Типы леса характеризуются разнообразием. Даже одноименные типы леса в разных географических условиях (или природных зонах) по важнейшим показателям могут значительно отличаться. Так, в зоне смешанных лесов (Тверская обл.) по сравнению с южнотаежной подзоной (Костромская область) продуктивность древостоев в сосняках лишайниковом и сфагновом на один класс бонитета выше. Наряду с исходными типами леса формирование типов вырубков зависит и от характера воздействия лесозаготовительной техники на подрост и почву. Поэтому важно соблюдать лесоводственные требования при проведении рубок. Представляют интерес предложенные критерии лесоводственной оценки сплошных рубок и применяемой техники, учитывающей встречаемости подроста до и после лесозаготовок. Разработанные И.С. Мелеховым, его учениками и последователями схемы типов вырубков в связи с типами леса во многих регионах страны служат природной основой для прогнозирования и проведения лесовосстановительных мероприятий. В разных географических условиях даже одноименные типы вырубков не всегда имеют одинаковые лесорастительные условия для возобновления леса. Так, природа вырубков вейникового типа в сосняках тайги европейской части России и Сибири не одинакова. В европейской части страны вейник создает сильное задернение на вырубках под влиянием умеренного влажного климата, в Сибири не происходит заметного задернения почвы тем же видом вейника. Суровый климат Сибири негативно влияет на его рост и развитие. В этих эколого-географических условиях сосна возобновляется успешно. Здесь необходимо только во время рубки оставлять семенные сосны. Рубки ухода за лесом в разных географических условиях имеют свои особенности. Например, в сосновых молодняках Русской равнины интенсивность рубок ухода возрастает по мере продвижения с севера на юг. Рубки ухода в северной подзоне тайги проводят в 30-летнем возрасте, в южной – в 15–20 лет.

Ключевые слова: лесоводственные системы, возобновление леса, сплошные рубки леса, типы вырубков.

Лесоводственные системы включают весь комплекс мероприятий по возобновлению, формированию (выращиванию) и повышению продуктивности леса. Они охватывают как отдельные этапы жизни леса, так и полный цикл его развития [6]. Лес как природная система рассматривается в пространстве и времени.

Понятие «лес» в естественно-историческом смысле может иметь несколько разных по объему значений. Лес как природную систему в пространстве в зависимости от объемных границ принято рассматривать на разных уровнях (глобальном, природно-зональном, провинциальном и др.). Лесоводственные системы на этих уровнях имеют свои особенности, связанные со свойственными для каждого

из них лесорастительными условиями, параметрическими и структурными показателями лесной экосистемы, в том числе и трансформированными под влиянием антропогенных нагрузок. Непосредственное изучение и ведение лесоводственных мероприятий осуществляется в лесу на уровне биогеоценоза (его типа или типа леса). На этом уровне лес имеет наибольшее практическое значение и представляет ценный объект для научного познания его как биологической системы [5]. В пределах одного и того же региона (природной зоны, подзоны) для разработки лесоводственных систем важное значение имеют экологические факторы или типы леса, их естественная или антропогенная динамика.

В связи с разнообразными эколого-географическими условиями России научный и практический интерес представляет установление географических особенностей лесоводственных систем. Такие особенности обычно успешно выявляются на природно-зональном уровне, т. е. на уровне зоны или подзоны. Они, по мнению Г.Ф. Морозова [9], являются самыми крупными классификационными единицами. К низшей классификационной единице он относит тип насаждений (или тип лесного биогеоценоза в современном понимании).

В свое время проф. Г.Ф. Морозов отмечал, что «... природа страны есть первейший и самый основной фактор для самобытности, и поэтому географическое лесоводство с его учением о зональности и типах насаждений есть, по моему глубокому убеждению, правильное решение вопроса» [9]. Идеи Г.Ф. Морозова о зонально-типологических основах лесного хозяйства были успешно использованы при разработке лесохозяйственных систем и развиты проф. А.В. Побединским [13, 14]. Им (совместно с институтом леса РАН) были предложены системы лесохозяйственных мероприятий для лесной зоны европейской части страны, а также разработаны «Рекомендации по выделению групп типов леса для той же зоны» [15]. Затем были составлены аналогичные рекомендации для лесов Урала, Сибири и Дальнего Востока. Однако до сих пор при разработке лесоводственных систем на зонально-типологической основе уделяется недостаточно внимания их динамическим аспектам. В частности, не в полной мере используются теоретические положения современных научных направлений в типологии леса (генетическое и динамическое), а также системный подход в лесоводстве.

При разработке лесоводственных систем недостаточно учитывались антропогенная динамика леса и ее эколого-географические особенности. Лесоводственные системы на этих уровнях имеют особенности, связанные со свойственными для каждого из них лесорастительными условиями, параметрическими и структурными показателями лесной экосистемы, в том числе и трансформированными под влиянием антропогенных нагрузок.

Формализация изменений лесной экосистемы в связи с осуществлением лесоводственных мероприятий является одной из важных и довольно трудных задач лесоводства. Сложность ее решения заключается в том, что лес является открытой природной (вероятностной) системой, динамика которой, кроме того, связана с неоднократным воздействием разнообразных лесоводственных мероприятий (в том числе систем машин). Динамику таких экосистем возможно установить с большей определенностью и удовлетворительным образом формализовать в рамках системного подхода на основе теоретических положений лесной биогеоценологии [17] и современных научных направлений в лесной типологии (генетической и динамической) [2, 5]. От такого научно обоснованного прогноза динамики экосистемы будет зависеть надежность (объективность) планирования проведения элементов лесоводственных систем на каждом этапе формирования леса (или его типа).

Формализация изменений лесного биогеоценоза (или его типа), вызванных применением лесоводственных систем, осуществляется поэтапно. Сначала описываются изменения качественного состояния (образование того или иного типа леса или типа вырубки). При этом используются схемы-модели или более абстрактные алгебраические модели, позволяющие формализовать систему в целом, но на менее детализированном уровне.

Отправной точкой для дальнейшего более детального изучения и описания изменения «динамической системы» в связи с применением лесоводственных мероприятий служит принципиальная схема формирования типов леса [5], предложенная И.С. Мелеховым, и определение ее как отношения, приведенное в формуле

$$S \subset (C_t \cdot X) \cdot Y,$$

где S – экосистема в период с момента рубки до становления типа вырубки или типа леса (в том числе и определенных этапов его формирования);

C_t – исходный тип леса (или начальное состояние лесной экосистемы);

X – воздействия сплошной рубки на лесную экосистему, т. е. вход системы;

Y – тип вырубki или определенные этапы формирования типа леса, или в т. ч. этап сформировавшегося типа леса (со спелым древостоем), т. е. выход системы.

Благодаря такому уравнению абстракции охватываются и так называемые параметрические и структурные неопределенности [8]. Современный уровень знаний лесного биогеоценоза (или его типа) как динамической системы [5, 17] позволяет описывать на таком уровне абстракции качественные состояния системы. Необходимая предсказуемость достигается дальнейшим разделением множеств на ряд подмножеств [8]. В лесной науке принято добиваться необходимой предсказуемости выхода лесной экосистемы разделением входного антропогенного на лесную систему (X) на нерегулируемое (H), т. е. влияние внешней среды, измененной в связи с удалением древостоя, которым сложно или невозможно управлять, и регулируемое (P), которым можно управлять или регулировать. К последнему чаще всего относится влияние лесозаготовительной техники на компоненты леса или изменение условий среды в связи с частичным удалением древостоя при несплошных рубках спелых и перестойных насаждений или рубках ухода. Нерегулируемое воздействие рубок (чаще всего сплошных) (H) вызывает изменение влияния источника внешней среды. В связи с этим повышается прежде всего интенсивность солнечной радиации после удаления древостоя, которое приводит к трансформации микроклиматических условий, водно-воздушного режима почвы, живого напочвенного покрова и других экологических факторов. Следовательно, вход системы имеет две составляющие ($X = P \cup H$). Таким разложением входного воздействия (на регулируемое и нерегулируемое) с большей определенностью достигается установление причинно-следственных связей, позволяющих судить о том, в какой мере использование рубок и лесозаготовительной техники влияет на формирование типа вырубki или типа леса в целом. Затем в пределах каждого типа леса или типа вырубki (качественного состояния системы) определяется выходная величина (принятая по густоте состояния деревьев на каждом возрастном этапе).

Слагаемые динамической системы, определяемые отношением $S \subset (C_i \cdot X) \cdot Y$, рассматриваются как в отдельности, так во взаимодействии и во взаимосвязи.

Для каждого этапа природной или антропогенной динамики типа леса характерны определенные элементы лесоводственных систем, лесоводственных требований к ним и организационно-технических элементов рубок.

Основные типы леса являются исходными (C_i) для образования типов вырубок, возобновления в связи с ними и целенаправленного формирования лесных насаждений рубками ухода.

Типы леса исторически сложились в различных климатических, геоморфологических, почвенных и прочих условиях. Поэтому основные исходные типы той или иной лесной формации наряду с общими чертами имеют свои, свойственные определенным географическим зонам, отличительные признаки.

Отличительные признаки наблюдались в одноименных сосновых типах леса южной тайги и зоны смешанных лесов Русской равнины, в которых исследовалась продуктивность древостоев по одному из важнейших показателей – бонитету. Объектом исследования служили следующие типы леса в каждой из природных зон: сосняки лишайник, брусничник, черничник, долгомошник и сфагновые. Сравнительный анализ по таблицам хода роста этого основного показателя продуктивности леса со спелым древостоем показал, что различие в продуктивности древостоев на один класс бонитета наблюдалось в основном в экстремальных экологических условиях – в сосняках лишайниковом и сфагновом (табл. 1). Это связано с более благоприятными климатическими условиями в зоне смешанных лесов по сравнению с южной тайгой.

Г.Ф. Морозов [9], В.Н. Сукачев [17] и другие классики отечественного лесоводства тип леса рассматривали как элементарную естественноисторическую единицу. В.Н. Сукачев [17] указывал, что тип леса – естественноисторическое или биогеоценотическое понятие, который в одних случаях имеет хозяйственное значение сам по себе (как таковой), в других – хозяйственное значение имеет объединение типов.

Основные показатели продуктивности древостоев сосновых лесов разных типов южной тайги и зоны смешанных лесов Русской равнины
Key indicators of the productivity of forest stands of pine forests of different types of southern taiga and mixed forest zone of the Russian Plain

Тип леса	Природная зона (подзона)	Средняя высота, м	Бонитет древостоя, лет	Возраст древостоя, лет	Число деревьев, шт./га	Сумма площадей сечения, м ² /га	Запас древостоя, м ³ /га
Сосняк лишайниковый	смешанных лесов	26,5	II	100	643	42,0	481
	южнотаежная	22,0	III	100	684	35,2	363
Сосняк брусничник	смешанных лесов	27,9	I	100	592	43,0	516
	южнотаежная	28,0	I	100	591	38,6	487
Сосняк черничник	смешанных лесов	28,	I	100	572	43,3	526
	южнотаежная	30,7	Ia	100	527	39,6	542
Сосняк долгомошник	смешанных лесов	23,0	III	100	802	38,8	390
	южнотаежная	22,5	III	100	883	35,6	374
Сосняк сфагновый	смешанных лесов	19,8	IV	100	1091	33,6	255
	южнотаежная	14,8	V	100	946	30,7	218

Примечание: класс бонитета определяется с помощью бонитировочной шкалы М.М. Орлова

Большой научный и практический интерес представляют «Рекомендации по выделению коренных и производных групп типов леса лесной зоны европейской части РФ» [15]. При установлении групп типов леса за основу принята эдафо-фитоценотическая схема типов леса В.Н. Сукачева.

В рекомендациях [15] приведены схемы групп типов для подзон северной, средней и южной тайги, а также зоны смешанных (хвойно-широколиственных) лесов европейской части России. Так, например, для сосняков зоны смешанных лесов предложено семь групп типов, для ельников той же зоны – три группы типов леса. Однако эти рекомендации следует уточнять и корректировать. Известно, что И.С. Мелехов [5] в свое время выделил ельник черничник свежий и ельник черничник влажный, древостои которых имеют разный бонитет (первый – ельник черничник свежий и второй (или третий) ельник черничник влажный). Кроме того, после сплошных рубок на месте этих типов леса формируются разные типы вырубков (на месте ельника черничника свежего чаще всего лесовейниковый тип вырубки, а на месте ельника черничника влажного ланцетнейниковый или щучковейниковый тип вырубки). Следовательно, ельник черничник свежий, на наш взгляд, целесообразно отнести к кисличной группе типов леса.

Влияние рубок спелых и перестойных насаждений (X) на исходный тип леса (C_v), т. е. начальное состояние лесной экосистемы в значительной мере определяет дальнейшую ее динамику. Поэтому для того, чтобы добиться целенаправленной тенденции формирования типа леса, необходимо осуществлять оптимальный или целесообразный выбор способа рубок спелых древостоев, параметров организационно-технических элементов рубок и лесоводственно-экологических требований к их проведению.

Выбор способа рубки леса определяется характером леса (и прежде всего его типом, природными, экономическими и социальными условиями). Установление способов рубок, их числовых параметров регламентируется официальными положениями, «Правилами заготовки древесины» [16], инструкциями органов лесного хозяйства [6]. В соответствии с «Правилами заготовки древесины» [16] для различных природных зон России рекомендуются параметры таких организационно-технических элементов сплошных рубок, как ширина и величина лесосеки, а также сроки примыкания лесосек, которые установлены в зависимости от биологии, экологии и географии леса.

Для лесоводственно-экологической экспертизы состояния площадей сплошных рубок, работы лесозаготовительной техники и технологии лесосечных работ необходимы научно обоснованные критерии лесоводс-

твенных требований к ним. Предложенный кафедрой лесоводства МГУЛ методический подход к обоснованию таких критериев основан на использовании показателей состояния лесной экосистемы с учетом мозаичности растительного покрова [10, 11]. Особое значение для установления критериев имеют входные показатели (сохранность подроста, степень минерализации почвы, плотность ее верхних слоев), существенно влияющие на выход экосистемы, типы вырубок, начальный и последующие этапы формирования типов леса.

На участке со спелым древостоем в зависимости от способа возобновления (после рубки) предъявляются разные требования к технологическим процессам. Основанием для отнесения участков леса до рубки к определенным способам возобновления (естественному предварительному, естественно последующему и искусственному) после рубки может служить величина встречаемости подроста до рубки или вероятность образования типов вырубок с благоприятными или неблагоприятными условиями для возобновления главных пород.

Лесоводственные требования к работе лесосечных машин в насаждениях с подростом основаны, прежде всего, на встречаемости подроста (остальные признаки его: густота, жизнеспособность и другие относятся в разряд ограничений), так как этот показатель является надежным критерием оценки естественно-го возобновления леса, позволяющей прогнозировать состав и продуктивность древостоев [4, 18]. Допустимая сохранность подроста устанавливается по соотношению встречаемости подроста под пологом леса до рубки и по встречаемости сохраненного подроста, в соответствии с которой возобновление леса оценивается удовлетворительно. Так, по оценочной шкале, предложенной А.Н. Мартыновым [4], для условий еловых лесов южнотаежной подзоны Русской равнины возобновление ели считается удовлетворительным при встречаемости подроста не менее 50 %. Для ельников зоны смешанных лесов Русской равнины при встречаемости подроста ели 40 % и более возобновление принято оценивать удовлетворительно [18]. А.В. Побединский [13] естественное возобновление сосны для таежной зоны

Сибири оценивает как хорошее при встречаемости подроста 60 % и более.

Такие показатели встречаемости подроста после рубки, назовем их «необходимыми», нами взяты в качестве отправной точки для расчета допустимой сохранности подроста после рубки, а также «достаточной» для этого встречаемости его после рубки. Чем ниже допустимая сохранность подроста, тем выше должна быть его «достаточная» встречаемость до рубки.

В табл. 2 приводится возможная допустимая сохранность подроста при проведении сплошных рубок при «достаточной» его встречаемости до рубки в ряде лесных формаций некоторых регионов России.

Требования к работе лесозаготовительных машин на лесосеках без подроста связаны с изменением состояния лесорастительных условий под влиянием рубок. Это состояние выражается через соотношение размеров и пространственного размещения фрагментов вырубки и парцелл, определяющих при наличии источников семян необходимую встречаемость подроста последующего возобновления или успешность приживаемости и роста лесных культур. Поэтому лесоводственные требования к работе лесосечных машин на лесосеках без подроста предъявляются разные и зависят от способа возобновления после рубки – естественно последующего или искусственного.

При проведении сплошных рубок без подроста, отнесенных к участкам с естественным последующим способом возобновления, можно допускать образование фрагментов вырубок таких размеров (и встречаемости), которые позволили бы обеспечить «необходимую» встречаемость самосева и подроста для полноценного и своевременного восстановления леса на вырубках. Аналогичные парцеллы растительного сообщества А.И. Бузыкин и Л.С. Пшеничникова [1] относят к микросистемам с «откликающимися» хорошей возобновительностью и ростом появившегося самосева. Если такие условия нельзя обеспечить, то на участках после лесозаготовок планируется создание лесных культур.

Для реализации предложенных методических положений потребуется создание

**Допустимая сохранность подроста при сплошных рубках
(при достаточной его встречаемости под пологом леса, до рубки)
Acceptable safety of the undergrowth at clearcuts (at sufficient of its occurrence under
the forest canopy, before cutting)**

Природная зона или подзона	Лесная формация	Подрост (порода)	Допустимая сохранность подроста, %	«Достаточная» встречаемость подроста до рубки, %	«Необходимая» встречаемость подроста после рубки, %
Смешанные леса европейской части России	Ельники	Ель	50	82,0	40
			55	74,5	
			60	68,4	
			65	63,1	
			70	58,6	
			75	54,7	
			80	51,3	
Южная тайга европейской части России	Ельники	Ель	50	100	50
			55	90,1	
			60	83,3	
			65	80,0	
			70	71,4	
			75	66,6	
			80	62,5	
Средняя и южная тайга Сибири	Сосняки	Сосна	60	100,0	60
			65	92,3	
			70	85,8	
			75	80,0	
			80	75,5	

базы данных с наличием следующих сведений на разных уровнях:

– на уровне парцеллы растительного сообщества – об особенностях образования парцелл или фрагментов типов вырубок с разной степенью повреждения почвы, характере задернения поверхности почвы и характере возобновления в связи с ними;

– на уровне биогеоценоза – о типах вырубок в связи с исходными типами леса, о вероятности их формирования в связи с различной степенью повреждения почвы лесосечными машинами;

– на региональном уровне – о региональных схемах образования типов вырубок в связи с исходными типами леса.

Существенное влияние на динамику леса (и его типы) оказывают рубки спелых и перестойных насаждений, которые в значительной степени определяют в дальнейшем возможные элементы лесоводственных систем. Особенности динамики леса (в пределах определенного типа леса) зависят прежде всего от характера удаления древостоя (полное,

постепенное и частичное) и связаны со способами рубок (рисунок)

Выборочные рубки (в классическом понимании) не оказывают существенного влияния на лес. Следовательно, элементы лесоводственных систем здесь долгое время остаются одни и те же.

После постепенных рубок формирование леса возможно за счет подроста и молодняка как предварительного, так и сопутствующего возобновления. Рубки ухода или следующий элемент лесоводственных систем начинают проводить в древостоях более старшего возраста, чем в молодняках, возникших на площадях сплошных рубок без наличия подроста (до рубки).

Радикальные изменения в качественном состоянии леса (его типа «С») чаще всего происходят после полного удаления древостоя сплошными рубками («Х»), которые следует проводить с учетом соблюдения организационно-технических элементов и лесоводственных требований. Динамика типов леса в связи со сплошными рубками нашла отражение в при-

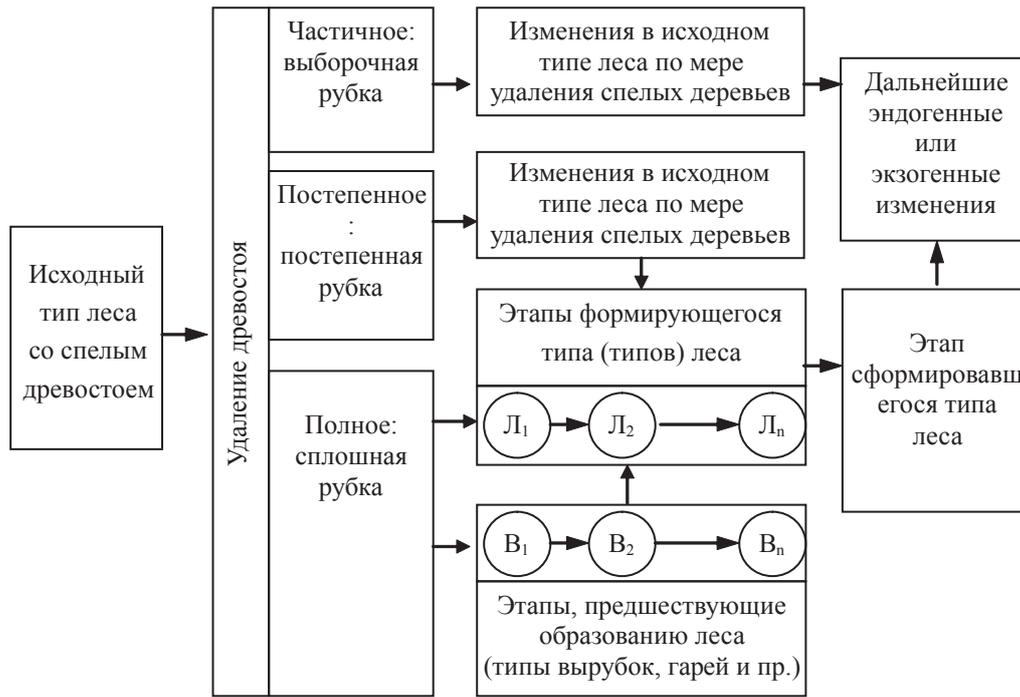


Рисунок. Схема формирования типов леса в связи с удалением древостоя различной интенсивности: Л – лесные этапы; В – вырубки

Figure. The scheme of formation of forest types in connection with the removal of the stand of varying intensity: Л – forest stages; В – cutting

нципиальной схеме И.С. Мелехова [5]. Принципиальная основа этой схемы вошла в схему-модель динамики леса в связи с рубками главного пользования в целом как составная ее часть.

Известно, что для каждого этапа динамики леса после сплошной рубки характерен определенный уровень организации лесной экосистемы. На раннем этапе организации экосистемы (типа вырубki), характеризующемся низким уровнем развития системы, наблюдается сильная зависимость ее от окружающей среды. В этот период одним из важнейших индикаторов и эдификаторов лесорастительных условий (и типа вырубki) выступает живой напочвенный покров. Особенно сложным, динамичным и, следовательно, менее предсказуемым является безлесный этап в развитии типа леса (типа вырубki).

На образование типов вырубок (типов лесорастительных условий), их динамичность влияет прежде всего исходный тип леса, а также характер повреждения почвенного и растительного покрова. Разнообразие связей между исходными типами леса и типами вырубок определяется устойчивостью (или стабильностью) лесного биогеоценоза до рубки, которая зави-

сит от обилия видового состава растительности и богатства почв. Чем продуктивнее, сложнее и богаче лесной биогеоценоз, тем шире диапазон качественных изменений экосистемы в связи с рубкой. С повышением продуктивности (бонитета) леса увеличивается число типов вырубок на месте одного и того же типа леса [6].

Для каждой природной зоны (или подзоны) характерен определенный набор типов вырубок, связанных с исходными типами леса. Для большинства регионов лесной зоны страны лесоводами разработаны схемы типов вырубок в связи с типами леса (а для некоторых регионов – и в связи с характером повреждения почвы и подроста во время лесозаготовок). Означенные схемы являются природной основой для разработки и применения лесоводственных систем.

Географические особенности типов вырубок и возобновление леса в связи с ними изучены неодинаково в разных регионах страны. обстоятельно они исследованы и описаны в таежной зоне европейской части России. Так, И.С. Мелеховым, Л.И. Корконосовой и В.Г. Чертовским в означенной природной зоне в монографии «Руководство по изучению типов концентрированных вырубок» [7] приведена

характеристика основных типов вырубок (вейниковых, луговиковых, лишайниковых, кипрейных и других). Им установлено, что в северной тайге преобладают вырубки луговикового и кипрейно-палового типа, которые занимают по 40 % площади всех вырубок. В средней тайге площадь вырубки вейниково-палового и кипрейно-палового типов соответственно 30 % и 25 % соответственно. В южной тайге того же региона доминируют вырубки вейникового (40 %) и лишайникового (20 %) типов. Благоприятные условия для возобновления хвойных пород складываются на вырубках верескового и лишайникового, кипрейного и малинникового типов [6]. Одним из важнейших мероприятий здесь является оставление источников обсеменения во время проведения лесозаготовок.

В зоне смешанных (хвойно-широколиственных) лесов Русской равнины повреждение почвы лесозаготовительными машинами (и прежде всего агрегатными – ЛП-17, ЛП-49 и др.) при сплошных рубках часто приводит к негативным лесоводственно-экологическим последствиям. Так, в ельнике кисличнике после работы машин ЛП-17, ЛП-49, ЛП-19 (по технологии, предусматривающей укладку деревьев под углом к волоку) формируются вейниковый, ситниковый, вейниково-щучковый типы вырубок с неблагоприятными условиями для возобновления главных пород [10]. Здесь после лесозаготовок целесообразно применить искусственный метод лесовосстановления.

Характерные особенности типов вырубок возобновления леса в связи с ними в таежной зоне Урала, Сибири, и Дальнего Востока рассмотрены в монографии В.И. Обьденникова и Н.И. Кожухова «Типы вырубок и возобновление леса» [12]. И.С. Мелехов [6, 7] отмечал, что существует большая группа вейниковых вырубок, природа которых может быть неодинакова с преобладанием в живом напочвенном покрове разных видов вейника. Географический ареал наиболее распространенных типов вырубок неодинаков. Лесовейниковые вырубки (с преобладанием вейника тростниковидного) в основном встречаются на Урале, в Западной и Восточной Сибири, тупоколоськово-вейниковые – на Урале, пурпурно-вейниковые – на Дальнем Востоке, багульни-

ковые, багульниково-вейниковые и осоковые в Сибири и Дальнем Востоке, кипрейные – на всей азиатской части страны. Багульниковые, осоковые, наземновейниковые, тупоколоськово-вейниковые вырубки в целом не благоприятны для возобновления хвойных пород. На таких вырубках чаще всего создают лесные культуры. На вырубках кипрейного, брусничного, лишайникового, рододендрово-багульникового типов создаются благоприятные условия для возобновления главных пород. В означенных эколого-географических условиях для успешного возобновления главных пород необходимо в процессе сплошных рубок оставлять источники обсеменения.

Следует отметить, что в разных природных зонах одноименные типы вырубок по условиям для возобновления леса не всегда одинаковы. Так, на вырубках лесовейникового типа, образованного на месте сосняков (в таежной зоне Сибири) вейник тростниковидный не создает заметного задернения поверхности почвы. Это связано с тем, что суровый климат Сибири негативно сказывается на росте и развитии этого вида растения. В этих условиях образуются сравнительно благоприятные условия для возобновления сосны. Здесь ориентируются на естественный метод восстановления леса после рубки. Однако на вырубках одноименного типа в условиях европейской части России вейник тростниковидный создает сильное задернение почвы, что затрудняет естественное возобновление главной породы. В таких географических условиях целесообразно на вырубках создавать лесные культуры.

Для каждого этапа развития леса характерен определенный уровень организации лесной экосистемы. На раннем этапе развития экосистемы (типа вырубки), как было отмечено выше, наблюдается низкий уровень организации и, следовательно, сильная зависимость ее окружающей среды. После смыкания молодняка наступает начало лесного этапа. По мере формирования молодняка и наступления последующих этапов (средневозрастных, приспевающих) повышается уровень организации лесных экосистем, которые все меньше зависят от окружающей среды, а следовательно, становятся все более предсказуемыми.

Нормативы рубок ухода в молодняках сосновых лесов таежной зоны европейской части России
Standards of thinning in young pine forests of the taiga zone of the European part of Russia)

Мероприятия	Подзона тайги	Группы типов леса					
		лишайниково-вые	брусничные	черничные	кисличные	долгомош-ные	сфагновые, травяно-болотные и др.
Уход в молодняках							
Возраст ухода Интенсивность, %	Северная и средняя	до 30 25	до 20 25	до 20 30	до 20 30	Не проводят	Не проводят
	Южная	до 20 30	до 20 30	до 20 40	до 20 40	То же	То же
Число стволов после ухода, тыс. шт./га	Северная и средняя	4,0	3,5	3,5	3,0	–	–
	Южная	4,4	4,0	4,0	3,5	–	–
Интенсивность прореживания, %	Северная и средняя	15	20	20	20	–	–
	Южная	20	25	25	30	–	–
Число стволов после прореживания, тыс. шт./га	Северная и средняя	2,5	2,0	1,5	1,5	–	–
	Южная	2,8	2,5	2,0	2,0	–	–
Интенсивность проходных рубок, %		15		20	20	–	–
Число стволов после проходных рубок, тыс. шт./га		1,5	1,2	1,2	1,0	–	–

В действующих «Правилах ухода за лесом» приведены придержки и нормативы режима рубок ухода в разных природных зонах и нормативы режима рубок ухода в разных природных зонах европейской части России, Урала, Сибири и Дальнего Востока. Для примера нормативы рубок ухода в молодняках сосны таежной зоны европейской части страны приведены в табл. 3 [14].

При планировании рубок ухода за лесом необходимо учитывать их географические особенности. Так, например, в сосновых молодняках Русской равнины интенсивность рубок ухода возрастает по мере продвижения с севера на юг. Рубки ухода в северной части тайги проводятся в 30-летнем возрасте, в южной – в 15–20 лет.

Итак, лесоводственные системы, связанные с биологией, экологией и географией леса, значительной мере зависят от этапов формирования типов леса. Важную роль в динамике леса играют рубки спелых и перестойных насаждений. Наибольшее влияние на изменение качественного состояния лес-

ной экосистемы оказывают сплошные рубки. Формирование типа леса после сплошной рубки определяется прежде всего начальным состоянием лесной экосистемы (т. е. исходным типом леса) и характером воздействия рубки на нее. Воздействие сплошной рубки целесообразно разделить на регулируемое (воздействие лесозаготовительной техники на подрост, почву и другие компоненты леса). Последнее влияние (нерегулируемое) связано с географической средой. Исходный тип леса и влияние на рубки являются причиной, а этапы формирования леса после рубки – следствием. Типы леса характеризуются разнообразием. Даже одноименные типы леса в разных географических условиях (или природных зонах) по важнейшим показателям могут значительно отличаться. Так, при изучении продуктивности в пяти типах леса (сосняках лишайнике, брусничнике, черничнике, долгомошнике и сфагновом) в двух природных зонах (подзонах) Русской равнины выявлено, что в экстремальных экологических условиях (в сосняках лишайниковом и сфагновом) про-

дуктивность древостоя отличалась на один класс бонитета (по шкале М.М. Орлова). В зоне смешанных лесов в этих типах леса бонитет был на один класс выше, чем в южной тайге. Формирование типов вырубок, наряду с исходными типами леса, зависит от характера воздействия техники на почву и подрост. В процессе лесозаготовок следует соблюдать лесоводственные требования. Предложенный критерий лесоводственных требований к рубкам, учитывающий встречаемость подроста до и после рубки, позволит с большей определенностью прогнозировать этапы формирования леса. Разработанные И.С. Мелеховым, его учениками и последователями схемы типов вырубок в связи с исходными типами леса могут быть природной основой для разработки и применения лесоводственных систем.

Во многих регионах страны, в разных географических условиях даже вырубки с одноименными типами не всегда имеют одинаковые лесорастительные условия для возобновления главных пород. В частности, условия для возобновления главных пород на вейниковых вырубках в сосняках таежной зоны европейской части страны и Сибири неодинаковы. В европейской части России вейник тростниковидный создает сильное задернение почвы, препятствующее естественному возобновлению сосны. Здесь хорошо развивается этот вид из-за сравнительно влажного климата, связанного с влиянием Атлантического климата. В таежной зоне Сибири вейник на вырубках развивается слабо из-за сурового климата азиатского континента. В связи с этим, вейник не создает заметного задернения почвы и образуются сравнительно благоприятные условия для возобновления сосны. Следовательно, в одних случаях (в европейской части страны) в означенных эколого-географических условиях целесообразно применять искусственный метод лесовосстановления, а в Сибири – естественный.

Рубки ухода в разных географических условиях имеют свои особенности. В северной части тайги они проводятся в 30-летнем возрасте, в южной – в 15–20 лет. В частности, в сосновых молодняках Русской равнины ин-

тенсивность рубок ухода возрастает по мере продвижения с севера на юг.

Библиографический список

1. Бузыкин, А.И. Дифференциация микроэкологических условий и почвенного субстрата леса / А.И. Бузыкин, А.С. Пшеничникова // Формирование лесных экосистем в условиях интенсивной эксплуатации. – Новосибирск: Наука, 1998. – С. 103–109.
2. Колесников, Б.П. Кедровые леса Дальнего Востока / Б.П. Колесников; Труды ДВФ АН СССР, 1956. – 262 с.
3. Лесной кодекс Российской Федерации. Комментарии: изд. 2-е, доп. – М.: ВНИИЛМ, 2007. – 856с.
4. Мартынов, А.Н. Оценка естественного возобновления леса / А.Н. Мартынов; Лесоведение, 1992. – № 4. – С.43–49.
5. Мелехов, И.С. Лесоведение: учебник / И.С. Мелехов. – М.: Лесная пром-сть, 1980. – 407 с.
6. Мелехов, И.С. Лесоводство: учебник, 3-е изд., испр. и доп. / И.С. Мелехов. – М.: МГУЛ, 2005. – 324с.
7. Мелехов, И.С. Руководство по изучению типов концентрированных вырубок. Изд. 2-е, доп. и испр. / И.С. Мелехов, Л.И. Корконосова, В.Г. Чертовской. – М.: Наука, 1965. – 180 с.
8. Месарович, М. Общая теория систем: математические основы / М. Месарович, Я. Такахаара. Перевод с англ. Э.Л. Налельбаума. – М.: Мир, 1978. – 312 с.
9. Морозов, Г.Ф. Избранные труды. Том II. / Г.Ф. Морозов. – М.: Лесная пром-сть, 1971. – 536 с.
10. Обыденников, В.И. Географические особенности последствий сплошных рубок с использованием агрегатной техники / В.И. Обыденников // Лесное хозяйство. – 1996. – № 5. – С. 20–22.
11. Обыденников, В.И. Методический подход к лесоводственно-экологической оценке работы лесозаготовительных машин при сплошных рубках / В.И. Обыденников // Лесоведение. – 2003. – № 3. – С. 41–45.
12. Обыденников, В.И. Типы вырубок и возобновление леса / В.И. Обыденников, Н.И. Кожухов. – М.: Лесная пром-сть, 1977. – 176 с.
13. Побединский, А.В. Основные принципы организации и ведения лесного хозяйства на законодательно-типологической основе / А.В. Побединский // Лесоведение. – 1981. – № 3. – С. 3–8.
14. Побединский, А.В. Система ведения лесного хозяйства на зонально-типологической основе. / А.В. Побединский // Лесоведение и лесоводство. Обзорная информация. – М.: ЦБН ТИ Гослесхоз СССР, 1983. – № 7. – 36 с.
15. Побединский, А.В. Рекомендации по выделению коренных и производных групп типов леса лесной зоны европейской части РСФСР / А.В. Побединский, Ю.А. Лазарев, Р.И. Ханбеков, А.Я. Орлов, Ю.Д. Абатуров – М.: ВНИИЛМ, 1982. – 40 с.
16. Правила заготовки древесины. Утверждены приказом Федерального агентства лесного хозяйства от 01.08.2011г. за № 337.
17. Сукачев, В.Н. Избранные труды. Основы лесной типологии и биогеоценологии. Том. I / В.Н. Сукачев. – Л.: Наука, 1972. – 418 с.
18. Тихонов, А.С. Теория и практика рубок леса / А.С. Тихонов, С.С. Зябенко. – Петрозаводск: Карелия, 1990. – 224 с.

ECOLOGICAL AND GEOGRAPHICAL ASPECTS OF THE SILVICULTURAL SYSTEMS

Obydennikov V.I., Prof., MSFU, Dr. Sci. (Agricultural)⁽¹⁾; Volkov S.N., Assoc. Prof. MSFU, Ph. D. (Biol.)⁽¹⁾; Korotkov S.A., Assoc. Prof. MSFU, Ph. D. (Biol.)⁽¹⁾

caf-lesovod@mgul.ac.ru, skorotkov@mgul.ac.ru, volkov@mgul.ac.ru

⁽¹⁾Moscow State Forest University (MSFU) 1st. Institutskaya, 1, 141005, Mytischki, Moscow reg., Russia

The silvicultural systems related with the biology, ecology and forest geography mostly depend on the phase of formation of the forest types after cuttings. The final cuttings play an important role in the forest dynamic (or cuttings of maturity and overmaturity stands under the Forestry Code of the Russian Federation). The final cuttings impact mostly the forest ecosystems quality. The forest types formation after final cuttings is determined first (in one region) by the initial condition of the forest ecosystems (that is an initial forest type) and the nature of the cutting impact. The final cutting impact can be divided into controlled (harvesting machines impact soil, understory trees and other forest compounds) and uncontrolled (changed intensive insolation impact after stands cutting). The last impact (uncontrolled) is connected with the geographical environment. The initial forest type and the cutting impact are a cause, and the stages of forest formation after cuttings are effects. The forest types are characterized by their diversity. Even homonymous forest types can be markedly different by the main criteria in different geographical regions (or native zone). Thus, the productivity of the lichenous and sphagnum pine stands is higher for one capacity class in temperate forest zone (Tverskay region) in comparison with south taiga subzone (Kostroma region). Along with the initial forest types, the cutting type formation depends of the nature of the impact of harvesting machines to undergrowth and soil. That is the reason of the importance of satisfying silvicultural requirements by cuttings. The suggested silvicultural estimation criteria of the final cuttings as well as used machines which are considered undergrowth occurrence before and after cuttings, are of interest. The cutting types diagram connected with forest types, developed by Melikhov, his students and followers, is the natural base for forecasting and carrying silvicultural activities in many regions. Even homonymous cutting types do not always have the same forest growth conditions for the reforestation in different geographical regions. At this rate, the nature of reedgrass cutting type in pine taiga forest is not the same in the Ciscaucasian Russia and Siberia. The reedgrass create intensive sod formation on the cuttings area in the European part of the country under the influence of the moderate damp climate. The planting is widely spread there. In Siberia the same reedgrass species are not a course of visible soil sod formation. The rigorous Siberian climate reflects adversely on reedgrass growth and development. The pine reforestation is successful in these ecological and geographical conditions. It is only required to maintain the final crop pine trees there. The clearing cuttings have their own special aspects in different geographical conditions. For example, the intensity of the clearing cuttings is increased incrementally from the north to the south in young stock on the Russian Plain. The clearing cuttings are conducted in the 30-years of age in the north taiga subzone, and 15-20 – in the south one.

Keywords: silvicultural system, forest regeneration, continuous logging, felling types.

References

1. Buzykin A.I., Pshenichnikova A.S. *Differentsiatsiya mikroekologicheskikh usloviy i pochvennogo substrata lesa* [Differentiation of micro ecological conditions and forest bedding rock]. Forest ecosystems formation in conditions of forced service. Novosibirsk: Nauka, 1998. 103 – 109 p.
2. Kolesnikov B.P. *Kedrovye lesa Dal'nego Vostoka* [The cedar forest of the Far East]. Writings DVF AN USSR, 1956. 262 p.
3. *Lesnoy kodeks Rossiyskoy Federatsii. Kommentarii* [The Forestry Code of the Russian Federation. The commentaries]. Moscow: VNIILM, 2007. 856 p.
4. Martynov A.N. *Otsenka estestvennogo vozobnovleniya lesa* [The estimation of the natural reforestation]. Silviculture, 1992. № 4. pp. 43-49.
5. Melekhov I.S. *Lesovedenie* [Silviculture]. Moscow: The forest industries, 1980. 407 p.
6. Melekhov I.S. *Lesovodstvo* [Forestry]. Moscow: MSFU, 2005. 324 p.
7. Melekhov I.S., Korkonosova L.I., Chertovskoy V.G. *Rukovodstvo po izucheniyu tipov kontsentrirrovannykh vyrubok* [The guidance of the concentrated cutting types studying]. Moscow: Nauka, 1965. 180 p.
8. Mesarovich M., Takakhara Ya. *Obshchaya teoriya sistem: matematicheskie osnovy* [The general systems theory: mathematical background] Translation from English E.L. Nalelbaum. Moscow: Mir, 1978. 312 p.
9. Morozov G.F. *Izbrannye trudy* [Selectas]. Tome II. Moscow: The forest industries, 1971. 536 p.
10. Obydennikov V.I. *Geograficheskie osobennosti posledstviy sploshnykh rubok s ispol'zovaniem agregatnoy tekhniki* [The geographic feature of the final cuttings consequence with the use of multi-function logging machinery]. Forestry, 1996. № 5. pp. 20-22.
11. Obydennikov V.I. *Metodicheskyy podkhod k lesovodstvenno-ekologicheskoy otsenke raboty lesozagotovitel'nykh mashin pri sploshnykh rubkakh* [The methodological approach to the forestry ecological estimation of the harvesting machines performance during final cuttings]. Silviculture, 2003. № 3. pp. 41-45.
12. Obydennikov V.I., Kozhukhov N.I. *Tipy vyrubok i vozobnovlenie lesa* [The cuttings type and reforestation]. Moscow: The forest industries, 1977. 176 p.
13. Pobedinskiy A.V. *Osnovnye printsipy organizatsii i vedeniya lesnogo khozyaystva na zakonodatel'no-tipologicheskoy osnove* [The main principals of the forest managements on the law and topologic basis]. Silviculture, 1981. № 3. pp. 3-8.
14. Pobedinskiy A.V. *Sistema vedeniya lesnogo khozyaystva na zonal'no-tipologicheskoy osnove* [The system of the forest managements on the law and topologic basis]. Silviculture и Forestry. Survey information. Moscow: TsBN TI Gosleshoz USSR, 1983. № 7. 36 p.
15. Pobedinskiy A.V., Lazarev Yu.A., Khanbekov R.I., Orlov A.Ya., Abaturou Yu.D., *Rekomendatsii po vydeleniyu korennykh i proizvodnykh grupp tipov lesa lesnoy zony evropeyskoy chasti RSFSR* [The recommendations for identifying native and derived groups of forest types in the European part of the Russian SFSR]. Moscow: VNIILM, 1982. 40 p.
16. *Pravila zagotovki drevesiny* [The harvesting regulation]. Ratified by the Federal Agency for Forestry Affairs order from 01.08.2011. № 337.
17. Sukachev V.N. *Izbrannye trudy. Osnovy lesnoy tipologii i biogeotsenologii* [Selectas. The forest typology a biogeocenology basis]. Leningrad: Nauka, 1972. 418 p.
18. Tikhonov, A.S., Zyabchenko S.S. *Teoriya i praktika rubok lesa* [The theory and practice of forest cutting]. Petrozavodsk: Karelia, 1990. 224 p.

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ УСПЕШНОГО РОСТА ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР НА ПЕСЧАНЫХ ЗЕМЛЯХ ПОЛУПУСТЫНИ И ПЕСЧАНО-РАКУШЕЧНЫХ ПОЧВАХ СТЕПИ

С.А. РОДИН, *проф. ВНИИЛМ, академик РАН, д-р с.-х. наук*⁽¹⁾,

Е.А. КАЛАШНИКОВА, *проф. РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, д-р биол. наук*⁽²⁾

kalash0407@mail.ru

⁽¹⁾ ФБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» (ВНИИЛМ), 141202, г. Пушкино, ул. Институтская, 15

⁽²⁾ ФГОУ ВО «Российский Государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 127550, Москва, ул. Тимирязева, д.49

Приводится биолого-теоретический анализ причин успешности роста лесных культур на песчаных и песчано-ракушечных землях полупустыни и сухой степи. На песчаных землях верхний 10–15-сантиметровый слой сильно пересыхает и не заселяется корнями. Ниже, в результате саморегуляции растений, направленной на сохранение вида, происходит сильное разрастание мелких корней, которые в первые годы обеспечивают культуры сосны влагой за счет атмосферных осадков. Успешный рост сосны, после прохождения фазы приживания, происходит в том случае, если стержневой и якорные корни, в результате геотропизма и хемотропизма, достигнут уровня грунтовых вод. После чего влага поднимается по этим корням к мелким, через корневые волоски выделяется поступившая влага, образуя микроувлажнение почвы, прилегающей к мелким корням, и тем самым локально растворяются питательные вещества. Затем происходит обратный процесс – поглощение всасывающими корнями образовавшихся питательных веществ и поступление их в крону и другие вегетативные органы растения. Особым лесокультурным фондом являются песчано-ракушечные земли, расположенные вдоль побережья Азовского моря, которые характеризуются низким плодородием, большой порозностью, недостатком влаги в пахотном горизонте, величина капиллярного подъема влаги грунтовых вод не превышает 50 см. В первые 5–10 лет лесные культуры растут медленно из-за недостатка влаги в пахотном горизонте. С достижением стержневого и якорных корней верхнего пятисантиметрового горизонта пресных грунтовых вод рост культур усиливается.

Ключевые слова: микроувлажнение, саморегуляция, стержневой корень, якорные корни, мелкие корни, хемотропизм, геотропизм, плодородие, пресная вода, грунтовая вода.

Выращивание культур сосны обыкновенной на песчаных землях полупустыни и сухой степи с уровнем грунтовых вод, расположенных на глубине 2,0 м и более, вызывает значительные трудности. Это объясняется прежде всего недостатком влаги в верхнем почвенном горизонте, где располагается основная масса мелких корней, обеспечивающих влагой и питательными веществами лесные растения. Детальные исследования А. Колесова (1) показали, что в степных условиях происходит сильное пересыхание верхнего десятисантиметрового слоя песка, температура которого достигает 60°C, а мелкие корни располагаются ниже этого слоя.

Вместе с тем, на песках полупустынной зоны и сухой степи имеются культуры сосны обыкновенной, обладающие хорошим ростом и высокой продуктивностью. Однако это явление до сих пор не нашло достаточного научного обоснования. Успешный рост сосны обыкновенной в указанных условиях нами

объясняется следующим. На песчаных землях полупустыни и сухой степи верхний 10–15-сантиметровый слой песков сильно пересыхает и не заселяется корнями. Ниже этого слоя, в силу саморегуляции растений, направленной на самосохранение вида, происходит сильное разрастание мелких корней (рис.), которые через корневые волоски потребляют атмосферную влагу. Причиной усиленного разрастания мелких корней является недостаток влаги в верхнем слое песков. После прохождения культурами сосны фазы приживания корневые системы не могут в полной степени обеспечить влагой разросшуюся надземную часть лесного растения. Успешный рост лесных культур в последующей фазе «интенсивного роста» и в дальнейшем будет в том случае, если в результате геотропизма и хемотропизма стержневой и якорные корни достигнут уровня грунтовых вод или влажного горизонта, образовавшегося при наличии глиняной прослойки. Поглощаемая при этом корнями влага восходящим то-

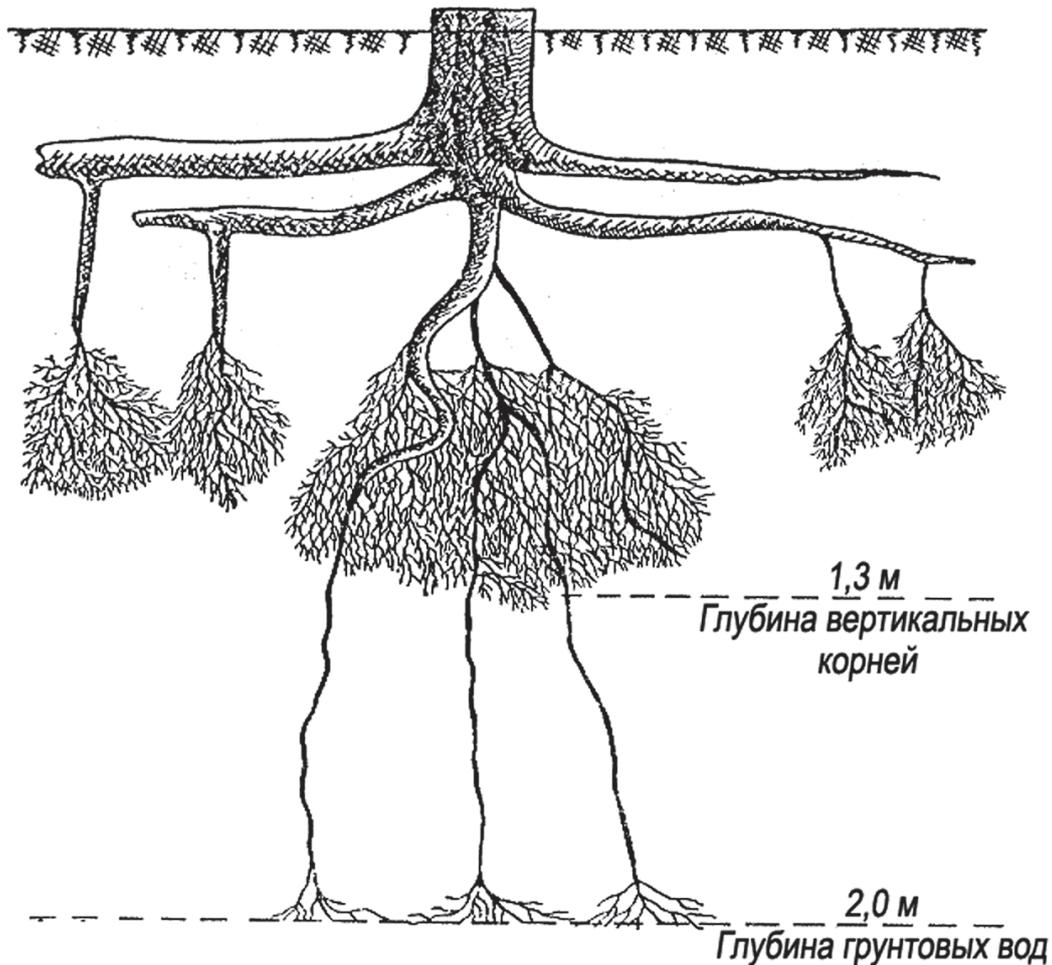


Рисунок. Корневая система 35-летнего модельного дерева сосны, растущего на песках в полупустынной зоне при уровне грунтовых вод 2,0 м (по В.В. Мелехову)

Figure. The root system of 35-year-old model pine tree growing on the sands in the semi-desert zone with groundwater level 2.0 m (for V.V. Melekhov)

ком достигает массы мелких корней, расположенных в верхнем слое песка.

Фундаментальные исследования, выполненные И.Н. Рахтеенко (4), установили существование ритмов поглощения и выделения питательных веществ всасывающими корнями. Это позволяет утверждать, что влага, поднятая по стержневому и якорным корням, поступает в мелкие корни, после чего корневые волоски выделяют поступившую влагу, образуя микроувлажнение почвы, прилегающей к корням, и тем самым локально растворяют питательные вещества. Затем происходит обратный процесс – поглощение всасывающими корнями образовавшихся питательных веществ и поступление их в крону и другие вегетативные органы растения.

Наши теоретические исследования подтверждаются В.В. Мироновым (3) на основании изучения 35-летних культур сосны обыкновенной, расположенных в полупустыне на светло-желтых песках с уровнем грунтовых вод 2,0 м. Высота культур сосны 11,5 м, а диаметр ствола 18 см. Было установлено, что до 10-летнего возраста культуры сосны росли медленно. В этот возрастной период, в результате саморегуляции растений, образовалась большая масса мелких корней сосны, расположенных на глубине 10–35 см (рис.), которые питались только за счет атмосферных осадков, но их не хватало для нормального роста лесных культур.

В 10-летнем возрасте вертикальные корни сосны достигли уровня грунтовых вод (2,0 м). Поглощаемая ими влага стала

поступать по вертикальным корням сосны к мелким. Это обеспечило поглощение и выделение корневыми волосками сосны влаги и питательных веществ, что привело к усилению роста культур сосны.

Сделанные выводы подтверждают наши исследования, проведенные в 140-летних культурах сосны обыкновенной, растущих на эоловых песках косы Кушю Наря (Литва) с уровнем грунтовых вод 1,0–1,5 м (5). В этих условиях культуры растут по первому бонитету, хотя мелкие корни не достигли уровня грунтовых вод, но вертикальные достигли и тем самым обеспечили всасывающие корни влагой, а вегетирующие органы сосны питательными веществами. На соседнем аналогичном участке при уровне грунтовых вод 6,0 м вертикальные корни сосны не достигли влажного горизонта и не обеспечили влагой всасывающие корни. В результате этого культуры сосны растут по третьему бонитету.

При облесении песков в засушливых условиях посадку культур сосны обыкновенной следует проводить по способу глубокого рыхления, по месту будущих рядов культур осуществляя безотвальное рыхление почвы на глубину 60–80 см, а высаживаемые сеянцы сосны заглублять до верхушечной почки. Это ускорит проникновение корней сосны ниже линии физиологической сухости почвы. В качестве посадочного материала можно использовать сеянцы сосны обыкновенной, выращенные на песчаной почве по венгерской агротехнике. В этом случае на глубину 60 см закладывают 10-сантиметровый слой сосновой хвои, затем два 20-сантиметровых слоя песка чередуются с 2–3-сантиметровыми слоями хвои. Через две недели, в результате хемотропизма и гемотропизма корней, последние проникают на глубину 25 см, а в конце первого года выращивания – на 60 см (6).

Особым лесокультурным фондом являются песчано-ракушечные земли Восточного Приазовья, расположенные узкой полосой вдоль побережья Азовского моря. Облесение этих земель вызывает определенные трудности, так как почвы характеризуются бедностью органическими и минеральными

веществами, большой порозностью, слабой водоудерживающей способностью, недостатком влаги. Вместе с тем, уровень грунтовых вод на большей части территории находится на глубине до 2 м, а величина капиллярного подъема влаги грунтовых вод не превышает 50 см (2). В этом случае, мелкие корни лесных растений, расположенные в пахотном горизонте, не достигают грунтовых вод и не могут их использовать.

В связи с этим в первые 5–10 лет высаженные лесные растения растут медленно, так как они питаются только за счет малого количества атмосферных осадков, потребляемых из пахотного горизонта поверхностными корнями. В последующем лесные растения образуют поверхностно-якорные корни. При этом последние при достижении самого верхнего горизонта грунтовых вод, которые являются пресными, обеспечивают, по данным Максименко А.П. (2), усиление энергии роста лесных культур в 1,5 раза.

Наше утверждение о том, что якорные корни поглощают пресную воду из верхнего горизонта грунтовых вод подтверждаются следующим. Во-первых, грунтовые воды ограничивают рост корней, которые потребляют ее только из самого верхнего горизонта. Во-вторых, наши исследования (1967 г.) на песчаной Бердянской косе Азовского моря показали наличие пресной воды в верхнем примерно 5-сантиметровом слое грунтовых вод, которые поглощаются якорными корнями сосны.

При облесении песчано-ракушечных почв рекомендуется плантажная вспашка на глубину 50–60 см, посадка растений с заглублением корневой шейки лиственных пород до 30 см, а сосны обыкновенной – до верхушечной почки (2). Глубокая посадка ускоряет рост стержневого и якорных корней и достижение ими уровня грунтовых вод.

Следовательно, на песках и песчано-ракушечных землях, расположенных в полупустыне и сухой степи, успешный рост лесных культур может быть только в том случае, когда якорные корни достигнут уровня грунтовых вод, а поглощаемая ими влага по вертикальным корням поднимется до мелких, расположенных в пахотном горизонте. При

этом происходит локальное микроувлажнение почвы за счет выделения влаги всасывающими корнями, растворения питательных веществ, которые затем поступают в вегетативные органы растения.

При облесении песков в полупустыне и сухой степи, а также по берегу морей, следует применять агротехнологические приемы, обеспечивающие с первых лет жизни лесных культур усиленный рост стержневых и якорных корней и достижение ими влажного горизонта.

Перед облесением морского побережья необходимо детально изучать химический состав грунтовых вод, с разделением их по горизонтам, обратив особое внимание на самый верхний 5–7-сантиметровый слой,

из которого стержневой и якорные корни поглощают пресную влагу.

Библиографический список

1. Колесов, А. Природа песков и их облесение / А. Колесов. – Харьков: Типография губернского правления, 1900. – 129 с.
2. Максименко, А.П., Облесение песчано-ракушечных почв Восточного Приазовья: монография / А.П. Максименко. – Краснодар: Кубанский учебник, 2002. – 287 с.
3. Миронов, В.В. Облесение песков Юго-Востока / В.В. Миронов. – М.: Лесная пром-сть, 1970. – 168 с.
4. Рахтеенко, Н.Н. Рост и взаимодействие корневых систем древесных растений / Н.Н. Рахтеенко. – Минск, 1963. – 254 с.
5. Репшас, Э.А. Рост и продуктивность культур сосны на песках косы Куршю-Нярия / Э.А. Репшас, А.Р. Родин // Лесное хозяйство. – 1975. – № 10 – С. 58–62.
6. Родин, А.Р. Облесение песчаных почв в Венгрии / А.Р. Родин // Лесохозяйственная информация. – Вып. № 14. – 1968. – С. 13.

ENVIRONMENTAL BACKGROUND OF FOREST PLANTATION SUCCESSFUL GROWTH IN SEMI-DESERT SAND LANDS AND STEPPE SAND SHELLY LANDS

Rodin S.A., Prof., VNIILM, Dr. Sci. (Agricultural), ⁽¹⁾; Kalashnikova E.A., Prof. RGAU – Timirjazev MSHA, Dr. Sci. (Biological) ⁽²⁾

kalash0407@mail.ru

⁽¹⁾ Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry (VNIILM), 141202, Pushkino, Institutskaya str. 15

⁽²⁾ Russian State Agrarian University–Timirjazev MSHA, 127550, Moscow, Timirjazev str. 49

The reasons of forest plantation successful growth in semi-desert and dry steppe sand and shelly sand lands are under review. Top 10-15 cm layer in sand lands is dried up severely and is not penetrated with roots. Plant self-regulation aimed at species conservation that goes on lower conditions big growth of small roots that during the first years provide pine plantation with water due to atmospheric precipitation. After the successful establishment of the first stage pine growth takes place when tap and anchor roots reach ground water level as the result of geotropism and chemotropism. Sand shelly lands around the Azov sea are characterized with low fertility, high porosity, lack of water in plough layer where amount of capillary uptake of ground water is under 50 cm and are a special forest plantation fund. First 5-10 years forest plantations grow slowly due to the lack of water in plough layer. Plantation growth builds-up as tap and anchor roots reach top 5 cm horizon of fresh ground waters.

Keywords: Micro-hydration, self-regulation, tap and anchor roots, small roots, chemotropism, geotropism, fertility, fresh water, ground waater.

References

1. Kolesov A. *Priroda peskov i ikh oblesenie* [Nature sand and afforestation]. Khar'kov, tipografiya gubernskogo pravleniya [Kharkiv, printing house of the provincial government], 1900. 129 p.
2. Maksimenko A.P., *Oblesenie peschano-rakushechnykh pochv Vostochnogo Priazov'ya* [Afforestation of sand and shelly soil Eastern Azov]. Krasnodar: Kuban. 2002. 287 p.
3. Mironov V.V. *Oblesenie peskov Yugo-vostoka* [Afforestation sands of South-east]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forestry], 1970. 168 p.
4. Rakhteenko N.N. *Rost i vzaimodeystvie kornevykh sistem drevesnykh rasteniy* [The growth and the interaction of the root systems of woody plants]. Minsk, 1963. 254 p.
5. Repshas E.A., Rodin A.R. *Rost i produktivnost' kul'tur sosny na peskakh kosy Kurshyu-Nyariya* [Growth and productivity of cultures of a pine on a sand spit Kursiu Nyariya]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry]. 1975. № 10. pp. 58-62.
6. Rodin A.R. *Oblesenie peschanykh pochv v Vengrii* [Afforestation sandy soils in Hungary]. Lesokhozyaystvennaya informatsiya, referativnyy zhurnal [Forestry information, refereed journal]. № 14. Moscow: TsBNTIleskhoz, 1968. pp. 13.

УДК 630.232.32(574.2)

ОПЫТ ИНТРОДУКЦИИ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ РАСТЕНИЙ В ЛЕСНОМ ПИТОМНИКЕ «АК КАЙЫН»

С.В. ЗАЛЕСОВ, проф. УГЛТУ, д-р с.-х. наук⁽¹⁾,
 М.Р. РАЖАНОВ, зам генерального директора РГП «Жасыл Аймак»⁽²⁾,
 А.В. ДАНЧЕВА, заведующая лабораторией КазНИИЛХ, канд. с.-х. наук⁽³⁾,
 А.С. ОПЛЕТАЕВ, доц. УГЛТУ, канд. с.-х. наук⁽¹⁾

zalesov@usfeu.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»,
 620030, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

⁽²⁾ Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения «Жасыл Аймак» Комитета лесного хозяйства и животного мира Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан (РГП «Жасыл Аймак»)

⁽³⁾ Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации

Проанализированы результаты исследований перспективности древесно-кустарниковых интродуцентов в лесном питомнике «Ак Кайын» (санитарно-защитная зона г. Астаны, Северный Казахстан). Испытаниями охвачено 132 таксона интродуцентов, представляющие растения 118 видов, 59 родов и 26 семейств. По показателям сохранности и интегральной оценки успешности интродукции все таксоны были разделены на шесть групп: самые перспективные, перспективные, менее перспективные, малоперспективные, неперспективные и непригодные. По итогам 14-летних исследований успешности интродукции установлено, что к группе самые перспективные можно отнести 23, перспективные – 29, менее перспективные – 30, малоперспективные – 11 и непригодные – 27 таксонов. Для повышения эффективности озеленения и лесоразведения рекомендуется использовать прежде всего следующие таксоны: Лиственница сибирская (*Larix sibirica Ledeb.*), Лиственница даурская (Гмелина) (*Larix Gmelinii Rupr.*), Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris L.*) включая формы пирамидальная (*P. Sylvestris f. Fastigiata L.*) и шаровидная (*P. Sylvestris «Globosa viridis» L.*), Можжевельник казацкий (*Juniperus sabina L.*), Береза повислая (*Betula pendula Roth.*), Тополь белый (*Populus alba L.*), Ива древовидная (козья) (*Salix caprea L.*), Вяз мелколистный (приземистый) (*Ulmus pumila L.*), Вяз гладкий (*Ulmus laevis Pall.*), Яблоня сибирская (Палласа) (*Malus Pallasonia Juz.*), Рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia L.*) (таксоны из г. Щучинска и г. Астаны), Боярышник Арнольда (*Crataegus Arnoldii*), Черемуха обыкновенная (птичья) (*Padus avium Mill.*) (таксоны из г. Щучинска и г. Астаны), Акация желтая (карагана древовидная) (*Caragana arborescens Lam.*), Клен ясенелистный (*Acer negundo L.*), Жимолость татарская (*Lonicera tatarica L.*), Лох узколистный (*Elaeagnus angustifolia L.*), Кизильник блестящий (*Cotoneaster lucidus Sohlecht.*), Селитрянкa Шобера (*Nitraria Scoberi L.*). Использование результатов исследования перспективности интродуцентов позволит избежать ошибок в подборе ассортимента для озеленения и лесоразведения в санитарно-защитной зоне г. Астаны и в Северном Казахстане.

Ключевые слова: интродукция, лесной питомник, вид, род, семейство, перспективность, сохранность, искусственные насаждения, сухая степь.

Эффективность лесоразведения в жестких природных условиях во многом зависит от правильного выбора ассортимента древесно-кустарниковых пород. Перенос столицы Республики Казахстан в г. Астану вызвал необходимость создания вокруг нее санитарно-защитной зоны, обеспечивающей комфортное проживание горожан. С 1998 г. на территории РГП «Жасыл Аймак» стали создавать ежегодно по 2,5 а с 2003 г. – по 5,0 тыс. га лесных культур.

Сложность лесоразведения в санитарно-защитной зоне Астаны объясняется крайне жесткими климатическими условиями. Район Астаны характеризуется несоответствием обилия тепла и света в период вегетации с малым количеством осадков, что обуславливает его засушливость.

Кроме того, для района характерны частые засухи, суховеи, пыльные бури, поз-

дние весенние и ранние осенние заморозки, сильные морозы зимой, быстрое иссушение почвы весной и в начале лета, связанное с малым количеством осадков и сильными иссушающими ветрами [1].

В летний период сеянцы нередко погибают от ожога корневой шейки, а при атмосферной и почвенной засухе – от недостатка влаги в почве.

Особо следует отметить многообразие почвенных комбинаций, что связано с проявлениями в разной степени солонцеватости и засоления почвогрунтов.

Указанные обстоятельства вызывают необходимость четкого подбора древесных и кустарниковых пород для лесовосстановления. Проблема заключается в том, что перечень древесно-кустарниковых видов, естественно произрастающих на территории РГП

«Жасыл Аймак», ограничен и не превышает 5 видов. В целях расширения ассортимента древесно-кустарниковых видов для озеленения и лесоразведения в лесном питомнике «Ак Кайын» РГП «Жасыл Аймак» были начаты работы по испытанию интродуцентов на предмет перспективности их выращивания.

Целью исследований являлось установление перспективности древесно-кустарниковых интродуцентов для озеленения и лесоразведения в санитарно-защитной зоне г. Астаны.

Работы по испытанию перспективности древесно-кустарниковых интродуцентов начаты в арборетуме лесного питомника «Ак Кайын» в 2001 г. Древесные и кустарниковые растения высаживались в арборетуме, как правило, био-группами по 10 экземпляров каждого таксона (вида, формы, гибрида, сорта, региона).

Посадка и посев древесных интродуцентов производились в течение 14 лет, что позволило получить данные о сохранности и перспективности различных таксонов.

Сохранность таксонов определялась по доле сохранивших жизнеспособность экземпляров на момент очередной инвентаризации растений. Перспективность устанавливалась в соответствии с методикой Главного ботанического сада [2], модифицированной А.В. Гусевым с соавторами [3, 4].

В качестве показателей оценки жизнеспособности растений и перспективности их выращивания были использованы степень вызревания побегов, зимостойкость, регулярность прироста побегов, способность к генетическому развитию и способы размножения. Оценка перспективности растений производилась на основе балльной системы.

Т а б л и ц а 1

Шкала интегральной оценки успешности видов для лесоразведения
School integral assessment of the success of species for afforestation

№ класса	Перспективность	Сумма баллов
I	Самые перспективные	91–100
II	Перспективные	76–90
III	Менее перспективные	61–75
IV	Малоперспективные	41–60
V	Неперспективные	21–40
VI	Непригодные	5–20

На основе расчета суммы баллов по всем вышеуказанным показателям устанавливалась интегральная оценка успешности, а виды растений распределялись на 6 классов (групп перспективности (табл. 1).

Видовой состав древесно-кустарниковых растений определялся с использованием различных определителей [5–8].

В процессе проведения исследований проанализирована перспективность 132 таксонов древесно-кустарниковых интродуцентов. Большинство таксонов завезено для выращивания в арборетуме лесного питомника «Ак Кайын» из городов Республики Казахстан, то есть уже прошло первичную адаптацию, что позволило рекомендовать их для дальнейших испытаний на предмет перспективности для озеленения и лесоразведения.

Распределение количества таксонов по семействам, родам и видам приведено в табл. 2.

Материалы табл. 2 свидетельствуют, что испытания прошли 132 таксона древесно-кустарниковых интродуцентов, представляющих 118 видов, 59 родов и 26 семейств. Наиболее обширным является семейство розоцветных, которое представлено растениями 19 родов и 34 видов.

Все многообразие исследованных таксонов было распределено на 6 классов или групп. К группе непригодных отнесено 27 таксонов. Однако для части таксонов, отнесенных к группе непригодных, оценка является предварительной. К последним относятся таксоны, завезенные в 2012 г. из г. Волгограда. Поскольку большинство сеянцев, завезенных в 2012 г., погибло в год посадки, есть основание полагать, что их гибель обусловлена нарушениями, допущенными при перевозке посадочного материала. Для принятия окончательного решения о перспективности данных видов желательно повторение эксперимента.

Группу неперспективных составили 11, малоперспективных – 12, менее перспективных – 30, перспективных – 29 и самых перспективных – 23 таксона.

В качестве наиболее перспективных для озеленения и лесоразведения можно рекомендовать следующие виды интродуцентов: Лиственница сибирская (*Larix sibirica Ledeb*),

Распределение количества таксонов, проходящих испытания в лесном питомнике «Ак Кайын», по семействам, родам и видам

The distribution of taxa undergoing tests in the forest nursery «Ak Kaiyn» by families, genera and species

Семейство	Род	Количество, шт.	
		видов	таксонов
Сосновые – Pinaceae Lindl.	Лиственница – Larox Mill.	2	2
	Сосна – Pinus L.	4	6
	Ель – Picea A. Dietr.	3	4
	Пихта – Abies Mill.	1	1
	Лжетсуга Psendotsuga Carr.	1	1
Кипарисовые – Cupressaceae A.Rich. et Bartl.	Туя – Thuja L.	2	2
	Можжевельник – Janiperus L.	3	3
Барбарисовые – Berberidaceae Juss.	Барбарис – Berberis L.	1	1
Ильмовые – Ulmaceae Mirb.	Вяз – Ulmus L.	4	4
	Каркас – Celtis L.	1	1
Буковые – Fagaceae Dumort.	Дуб – Quercus L.	2	3
Ореховые – Juglandaceae A. Rich. ex Kunth.	Орех – Juglans L.	1	1
	Тополь – Populus L.	7	8
Ивовые – Salicaceae Mirb.	Ива – Salix L.	6	6
	Липовые – Tiliaceae Juss.	Липа – Tilia L.	2
Гортензиевые – Hydrangeaceae Dumort.	Дейция – Deutzia Thunb.	1	1
	Чубушник – Philadelphus L.	1	1
Крыжовниковые – Grossulariaceae DC.	Смородина – Ribes L.	2	2
	Крыжовник – Grossularia Mill.	1	1
Розоцветные – Rosaceae Adans.	Спирея – Spiraea L.	2	3
	Малина – Rubus L.	2	3
	Роза – Rosa L.	7	7
	Груша – Pyrus L.	2	2
	Яблоня – Malus Mill.	2	2
	Рябина – Sorbus L.	1	2
	Ирга – Amelanehier Medik.	1	1
	Боярышник – Crataegus L.	2	2
	Айва – Chaenomeles	1	1
	Арония – Aronia	1	1
	Кизильник – Cotoneaster Medik.	1	1
	Пузыреплодник – Physocarpus (Camb.) Maxim.	1	1
	Рябинник – Sorbaria (Ser. ex DC) A. Br.	1	1
	Черемуха – Padus Mill.	4	5
	Слива – Prunus L.	2	2
	Вишня – Cerasus Mill.	2	2
	Миндаль – Amygdalus L.	2	3
Березовые – Betulaceae S.F. Gray.	Береза – Betula L.	2	2
Кленовые – Aceraceae Luss.	Клен – Acer L.	3	4
Бобовые – Fabaceae Lindl.	Карагана – Caragana Fabr.	2	2
	Дрок – Genista L.	1	2
	Гледичия – Gleditsia L.	1	1
Жимолостные – Caprifoliaceae Luss.	Бузина – Sambucus L.	1	1
	Жимолость – Lonicera L.	1	1
	Снежноягодник – Symphoricarpos (L.) Blake.	1	1
	Калина – Viburnum L.	2	3
	Вейгела – Weigela Thunb.	1	1
Маслиновые – Oleaceae Hoffmanns. et. Link.	Ясень – Fraxinus L.	2	2
	Сирень – Syringa L.	5	5
	Бирючина – Ligustrum L.	1	1
	Жасмин – Jasminum L.	1	1

Семейство	Род	Количество, шт.	
		видов	таксонов
Лоховые – Elaeagnaceae Juss.	Лох – <i>Elaeagnus</i> L.	2	2
	Облепиха – <i>Hippophae</i> L.	1	1
	Шефердия – <i>Shepherdia</i> Pursh.	1	2
Тамариковые – <i>Tamaricaceae</i> Link.	Тамарикс – <i>Tamarix</i> L.	3	3
Анакардиевые – <i>Anacardiaceae</i> Lindl.	Скумпия – <i>Cotinus</i> Mill.	1	1
Кизилевые – <i>Cornaceae</i> (Dumort.) Dumort.	Дерен – <i>Cornus</i> L.	1	1
Бересклетовые – <i>Celastraceae</i> R. Br.	Бересклет – <i>Euonymus</i> L.	1	1
Крушиновые – <i>Rhamnaceae</i> Juss.	Жостер – <i>Rhamnus</i> L.	1	1
Селитрянковые – <i>Nitrariaceae</i> Berch. et. J. Presl.	Селитрянка – <i>Nitraria</i> L.	1	1
Сумаховые – <i>Anacardiaceae</i> Lindl.	Сумах – <i>Rhus</i> L.	1	1
Конскокаштановые – <i>Hippocastanaceae</i>	Конский каштан – <i>Aesculus</i> L.	1	1
	Аморфа – <i>Amorpha</i> L.	1	1

Лиственница даурская (Гмелина) (*Larix Gmelinii* Rupr.), Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) включая формы пирамидальная (*P. Sylvestris* f. *Fastigiata* L.) и шаровидная (*P. Sylvestris* «*Globosa viridis*» L.), Можжевельник казацкий (*Janiperus sabina* L.), Береза повислая (*Betula pendula* Roth.), Тополь белый (*Populus alba* L.), Ива древовидная (козья) (*Salix caprea* L.), Вяз мелколистный (приземистый) (*Ulmus pumila* L.), Вяз гладкий (*Ulmus laevis* Pall.), Яблоня сибирская (Палласа) (*Malus Pallasiana* Juz.), Рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.) (таксоны из г. Щучинска и г. Астаны), Боярышник Арнольда (*Crataegus Arnoldii*), Черемуха обыкновенная (птичья) (*Padus avium* Mill.) (таксоны из г. Щучинска и г. Астаны), Акация желтая (карагана древовидная) (*Caragana arborescens* Lam.), Клен ясенелистный (*Acer negundo* L.), Жимолость татарская (*Lonicera tatarica* L.), Лох узколистный (*Elaeagnus angustifolia* L.), Кизильник блестящий (*Cotoneaster lucidus* Sohlecht.), Селитрянка Шобера (*Nitraria Scoberi* L.).

При отсутствии посадочного материала самых перспективных видов можно использовать также 29 перспективных таксона: Ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.) (два таксона из г. Щучинска и г. Усть-Каменогорска), Ель колючая (*Picea pungens* Engelm.), Дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), Тополь дрожащий (осина) (*Populus tremula* L.), Липа мелколистная (сердцевидная) (*Tilia cordata* Mill.), Яблоня лесная (*Malus sylvestris* (L.) Mill.), Груша уссурийская (*Pyrus ussuriensis* Maxim.), Груша обыкновенная (форма культурная) (*Pyrus communis* L.),

Черемуха Маака (*Padus maackii* (Rupr.) kom.), Черемуха виргинская (*Padus virginiana* (L.) Mill.), Миндаль низкий (бобовник) (*Amygdalus nana* L.) (таксоны из г. Петропавловска и г. Кокшетау), Вишня обыкновенная (садовая) (*Cerasus vulgaris* Mill.), Боярышник зеленомясный (*Crataegus chlorosarca* Maxim.), Облепиха крушинолистная (*Hippophae rhamnoides* L.), Ясень зеленый (ланцетный) (*Fraxinus lanceolata* Borkh.), Крыжовник обыкновенный (*Grossularia uvacrispa* (L.) (*Ribes uvacrispa* L.)), Роза морщинистая (ругоза) (*Rosa rugosa* Thunb.), Роза коричная (майская) (*Rosa majalis* Herrm.), Шиповник иглистый (*Rosa acicularis* Lindl.), Шиповник мелколистный (*Rosa pimpinellifolia* L.), Смородина золотистая (*Ribes aureum* Pursh), Смородина черная (*Ribes nigrum* L.), Ежевика обыкновенная, малина сизая (*Rubus vulgaris* Weihe and Nees), Калина обыкновенная (*Viburnum opulus* L.), Малина обыкновенная (*Rubus idaeus* L.), Тамарикс изящный (*Tamarix gracilis* Willd.), Шефердия серебристая (*Shepherdia argentea* (Pursh.)).

Выводы

1. Результаты испытаний 132 таксонов древесно-кустарниковых интродуцентов, выкопанных в арборетуме лесного питомника «Ак Кайын», позволили распределить их на 6 групп перспективности.

2. Использование при озеленении и лесоразведении самых перспективных и перспективных таксонов позволит повысить эффективность озеленения и лесоразведения в санитарно-защитной зоне г. Астаны, а также

обеспечит устойчивость и эстетическую привлекательность формируемых насаждений.

3. Поскольку значительное количество таксонов не достигло возраста плодоношения, а также есть возможность случайной ошибки при однократном испытании, последние следует продолжить.

Библиографический список

1. Азбаев, Б.О. Эффективность выращивания искусственных насаждений в зеленой зоне г. Астаны / Б.О. Азбаев, А.В. Данчева, А.Н. Рахимжанов, и др. // Современное состояние и перспективы охраны и защиты лесов в системе устойчивого развития. – Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси, 2013. – С. 157–160.
2. Куприянов, А.Н. Интродукция растений: учебное пособие. / А.Н. Куприянов. – Кемерово: Кузбасвузиздат, 2004. – 96 с.
3. Гусев, А.В. Методика определения перспективности интродукции древесных растений. / А.В. Гусев,

С.В. Залесов, Д.Н. Сарсекова // Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса в рамках концепции 2020: Материалы VII междунар. науч.-техн. конференции. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. Ун-т, 2009. Ч. 2. – С. 272–275.

4. Залесов, С.В. Перспективность древесных интродуцентов для озеленения в условиях средней подзоны тайги Западной Сибири / С.В. Залесов, Е.П. Платонов, А.В. Гусев // Аграрный вестник Урала. – 2011. – № 4(83). – С. 56–58.
5. Бородин, Н.А. Деревья и кустарники СССР. / Н.А. Бородин, В.И. Некрасов, Н.С. Некрасова и др. – М.: Изд-во «Мысль», 1966. – 637 с.
6. Алексеев, В.А. Древесные растения лесов России / В.А. Алексеев, О.А. Связева. – Красноярск: СО РАН, Институт леса им. В.Н. Сукачева, 2009. – 182 с.
7. Петров, А.П. Дендрологический атлас: учеб. пособие. / А.П. Петров, Е.М. Дорожкин. – Екатеринбург: УИ ПК-КЛК, 2002. – 224 с.
8. Куликов, П.В. Определитель сосудистых растений Челябинской области. // П.В. Куликов. – Екатеринбург: УрО РАН, 2010. – 971 с.

EXPERIENCE OF TREE AND SHRUB PLANTS INTRODUCTION IN FOREST NURSERY «AK KAYIN»

Zalesov S.V., Prof. Ural state forest engineering universit, Dr. Sci. (Agriculture)⁽¹⁾; Razhanov M.P., vice-general director «Zhasyl Imak»,⁽²⁾; Dancheva A.V., Kazakh scientific research institute of forestry and agrosilviculture, Ph. D. (Agricultural)⁽³⁾; Opletaev A.S., Assoc. Prof. Ural state forest engineering universit, Ph. D. (Agricultural)⁽¹⁾

zalesov@usfeu.ru, zhasyl-aimak@mail.ru,

⁽¹⁾ Ural state forest engineering universit, Ekaterinburg, Russia, 620030, Ekaterinburg, Sibirsky Tract, 37),

⁽²⁾ «Zhasyl Imak», Kazakhstan, 010000 Astana, set. Prigorodnaya, Shkolnaya st., 1a,

⁽³⁾ Kazakh scientific research institute of forestry and agrosilviculture

The article deals with the results of tree and shrub introductions perspectiveness in the forest nursery «Ak Kayin» (sanitary-protective zone, Astana, Northern Kazakhstan) 132 introduced taxa representing plants of 118 species, 59 kinds, 26 families have been tested. As conservation and successfulness of integral estimation are concerned all the taxa have been divided into 6 groups: the most perspective, perspective, less perspective, low perspective, non-perspective and useless. As a result of 14-year investigations of introduction usefulness it has been established that 23 taxa constitute the most perspective group, 29 – the perspective group, 30 – the less perspective, 11 – the low perspective and 27 – the useless group. To improve landscape gardening and forestation effectiveness it is recommended, first of all, to use the following taxa: *Larix sibirica* Ledeb., *Larix Gmelinii* Rupr., *Pinus sylvestris* L. including the pyramidal (*P. Sylvestris* f. *Fastigiata* L.) and globe-shaped ones (*P. Sylvestris* «*Globosa viridis*» L., *Janiperus sabina* L., *Betula pendula* Roth., *Populus alba* L., *Salix caprea* L., *Ulmus pumila* L., *Ulmus laevis* Pall., *Malus Pallasiana* Juz., *Sorbus aucuparia* L., *Crataegus Arnoldii*, *Padus avium* Mill., *Caragana arborescens* Lam., *Acer negundo* L., *Lonicera tatarica* L., *Elaeagnus angustifolia* L., *Cotoneaster lucidus* Sohlecht., *Nitraria Scoberi* L. The results of introductions perspectiveness investigation proper using will make possible to avoid mistakes when choosing assortment for landscape gardening and forestation in Astana sanitary-protective zone and in Northern Kazakhstan.

Keywords: introduction, forest nursery, kind, family, perspectiveness, conservations, artificial stands, arid steppe.

References

1. Azbaev B.O., Dancheva A.V., Rakhimzhanov A.N., Razhanov M.R., Suyundikov Zh.O. *Effektivnost' vyrashchivaniya iskusstvennykh nasazhdeniy v zelenoy zone g. Astany* [The effectiveness of the cultivation of artificial plantations in the green zone of Astana]. The current state and prospects for conservation and protection of forests in the system of sustainable development. Gomel: Institute of Forest of NAS of Belarus, 2013. pp. 157-160.
2. Kupriyanov, A.N. *Introduktsiya rasteniy* [Plant Introduction]. Kemerovo: Kuzbasvuzizdat, 2004. 96 p.
3. Gusev A.V., Zalesov S.V., Sarsekova D.N. *Metodika opredeleniya perspektivnosti introduktsii drevesnykh rasteniy* [Method for determining the prospects of introduction of woody plants]. Socio-economic and environmental problems of forest complex within the concept of 2020: Proceedings of the VII Intern. scientific. Ekaterinburg: Ural state forest engineering universit, 2009. V. 2. pp. 272-275.
4. Zalesov S.V., Platonov E.P., Gusev A.V. *Perspektivnost' drevesnykh introdutsentov dlya ozeleneniya v usloviyakh sredney podzony taygi Zapadnoy Sibiri* [The promise of exotic species of wood for landscaping in a middle taiga subzone of West Siberia]. Agricultural Gazette Urals, 2011. № 4. (83). pp. 56-58.
5. Borodina N.A., Nekrasov V.I., Nekrasova N.S., Petrova I.P., Plotnikova L.S., Smirnova N.G. *Derev'ya i kustarniki SSSR* [Trees and shrubs of the USSR]. Moscow: Mysl', 1966. 637 p.
6. Alekseev V.A., Svyazeva O.A. *Drevesnye rasteniya lesov Rossii* [Woody plants forest Russia]. Krasnoyarsk: Russian Academy of Sciences, Institute of Forest V.N. Sukachev, 2009. 182 p.
7. Petrov A.P., Dorozhkin E.M. *Dendrologicheskiy atlas* [Dendrological Atlas]. Ekaterinburg: UI PKKLLK, 2002. 224 p.
8. Kulikov P.V. *Opredelitel' sosudistykh rasteniy Chelyabinskoy oblasti* [The vascular plants of the Chelyabinsk region]. Ekaterinburg, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, 2010. 971 p.

УДК 630*182(1-751.1)(470.22)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА БИОРАЗНООБРАЗИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ НИЗКОГОРИЙ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ПААНАЯРВИ»

О.А. РУДКОВСКАЯ, науч. сотрудник ИЛ КарНЦ РАН, канд. биол. наук⁽¹⁾,
Б.В. РАЕВСКИЙ, ст. науч. сотрудник ИЛ КарНЦ РАН, канд. с.-х. наук⁽¹⁾,
А.А. ИЛЬИНОВ, ст. науч. сотрудник ИЛ КарНЦ РАН, канд. с.-х. наук⁽¹⁾,
М.В. МЕДВЕДЕВА, доц., ст. науч. сотрудник ИЛ КарНЦ РАН, канд. биол. наук⁽¹⁾

rudkov.o@yandex.ru, borisraevsky@gmail.com, mariamed@krc.karelia.ru, ialexa33@yandex.ru

⁽¹⁾ ФГБУН Институт леса Карельского научного центра Российской академии наук (ИЛ КарНЦ РАН)
185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11, Институт леса Карельского НЦ РАН

Проведено детальное исследование растительного покрова самых южных в Восточной Фенноскандии низкогорий, которые расположены на крайнем северо-западе Республики Карелия в пределах национального парка (НП) «Паанаярви». История проведения ботанических исследований на территории НП насчитывает более полутора веков, однако данные о сравнительной оценке биоразнообразия растительных сообществ низкогорий на текущий момент отсутствуют. Исследования структуры и состава растительных сообществ выполнены на постоянных пробных площадях, заложенных у подножия горы Кивакка (499,5 м) в сообществах зональных еловых древостоев, а также на юго-западном склоне горы в поясах редкостойных ельников и горных тундр. Несмотря на малую протяженность поясов, занятых редколесьем и горными тундрами, данные сообщества характеризуются заметно более высоким уровнем флористического богатства, α -разнообразия, точечного β -разнообразия в силу пестроты микроклиматических, эдафических и гидрологических условий по сравнению с зональными северотаежными еловыми лесами. С увеличением гетерогенности экологических условий на более высоких отметках ландшафта связано и усложнение эколого-ценотической структуры сообществ, при этом наблюдается повышение фитоценотической роли лесных видов с широкой экологической амплитудой. Отмечена следующая особенность изменения горизонтального строения растительного покрова с увеличением высоты. С одной стороны, наблюдается увеличение числа содоминирующих видов в микрогруппировках, а с другой – увеличение обилия каждого из них. Установлено положительное влияние высотного положения исследованных сообществ на проективное покрытие *Empetrum hermaphroditum* и *Ledum palustre*, отрицательное – на проективное покрытие *Linnaea borealis*, *Melampyrum pratense* и *Vaccinium myrtillus*, также рассчитана сила влияния регулирующего фактора.

Ключевые слова: низкогорный ландшафт, высотный градиент, α -разнообразие, β -разнообразие, эколого-ценотическая структура, сосудистые растения.

На большей части территории таких стран Северной Европы, как Норвегия, Швеция и Финляндия, а также в Мурманской области (Россия) низкогорья являются одним из наиболее распространенных типов рельефа. В Карелии же данный тип представлен только на крайнем северо-западе региона, в пределах национального парка (НП) «Паанаярви», сохранность ландшафтов которого имеет исключительно важное значение для поддержания биоразнообразия и обеспечения устойчивости природных экосистем Восточной Фенноскандии.

Ботанические исследования на территории НП имеют более чем полуторавековую историю, начиная с первых сборов F. Nylander, B. Nyberg и др. [1]. К настоящему времени достаточно полно выявлена флора сосудистых растений парка [2], описаны общие закономерности структуры и спон-

танной динамики лесного покрова, описаны ландшафтные особенности в целом для всей территории НП «Паанаярви» [3–6]. Однако, несмотря на столь длительный период изучения состояния растительного покрова НП «Паанаярви», отсутствуют данные о сравнительной оценке биоразнообразия растительных сообществ низкогорий.

Цель настоящей статьи – дать подробное описание структуры растительных сообществ низкогорий НП «Паанаярви», оценить уровень их биоразнообразия в высотном градиенте на примере горы Кивакка, расположенной на юго-востоке НП.

Территория НП расположена на кристаллическом фундаменте Фенноскандинавского щита, сложенного преимущественно диоритами, гранитами, гнейсами и мигматитами архейского периода [7]. Сложное геологическое строение обусловило формирование

пересеченного рельефа и высокую мозаичность почвенного горизонта. Преобладающим по площади на территории НП является ландшафт низкогорный среднезаболоченный с преобладанием еловых местообитаний. Район исследования территориально относится к северозападному горному Карельскому округу Кольско-Карельской подпровинции североевропейской таежной провинции. Для возвышенностей характерен следующий вертикальнопоясной ряд: ельники (*Picea obovata* Ledeb.) редкостойные воронично-черничные лишайниково-зеленомошные, березовые криволесья из *Betula czerepanovii* N. I. Orlova, а на вершинах – горные кустарничково-лишайниковые тундры [8].

Исследования структуры и состава растительных сообществ выполнены на четырех постоянных пробных площадях (ППП), заложенных на юго-западном склоне горы Кивакка (499,5 м), на высотных отметках 208, 213, 450 и 470 м над у.м. Пробные площади (0,4 га) закладывали в соответствии с ОСТ 56:69:83. [9]. Схема расположения пробных площадей представлена на рис. 1. Пробные площади Паанаярви-1 (208 м над у.м.) и Паанаярви-2 (213 м над у.м.) заложены в ельниках черничном и черничном влажном соответственно. Они характеризуют структуру нижнего пояса, который является продолжением широтной зоны, расположенной у подножия. Далее в ельнике воронично-черничном (пояс редкостойных ельников) заложена ППП Паанаярви-3 (450 м над у.м.). На высоте 470 м над у.м., в поясе горных тундр заложена ППП Паанаярви-4. На всех пробных площадях закладывали полнопрофильные почвенные разрезы, проводили их морфологическое описание [10]. Геоботаническое описание напочвенного покрова выполняли по стандартной методике [11]. При проведении эколого-ценотического анализа за основу принята система М.Л. Раменской [12].

При оценке фенотипической структуры популяций ели в НП «Паанаярви» был использован количественный показатель, характеризующий форму семенной чешуи – коэффициент Бакшаевой [13].

Альфа-разнообразие оценивали с помощью индекса Шеннона [14, 15], который

рассчитывали по формуле $H = -\sum p_i \ln(p_i)$, где p_i – доля i -го вида, которая вычисляется как среднее арифметическое отношений проективного покрытия i -го вида к среднему арифметическому общему проективному покрытию всех видов сосудистых растений. Чем выше значение индекса, тем выше уровень видовой разнообразия.

Для того чтобы оценить уровень точечного β -разнообразия, понимаемого как разнообразие внутри отдельного сообщества [16], в пределах каждой пробной площади были выделены микрогруппировки по доминирующим видам [17] и проведено их геоботаническое описание. Количество микрогруппировок на ППП Паанаярви-1, Паанаярви-2, Паанаярви-3 и Паанаярви-4 соответственно составило 16, 32, 9 и 12. Количество и повторяемость однотипных микрогруппировок отражают сложность внутриценотической структуры исследованных участков, которая, как известно, обусловлена неоднородностью экотопических и биотических условий. Уровень точечного β -разнообразия оценивали с помощью отношения числа типов выявленных на пробной площади микрогруппировок к общему количеству микрогруппировок на данной площади – ЧТ/ОКМ [18]. Максимально возможное значение ЧТ/ОКМ равняется 1, когда все выделенные микрогруппировки уникальны по составу и строению.

С целью выявить влияние фактора высоты над у. м. на обилие видов сосудистых

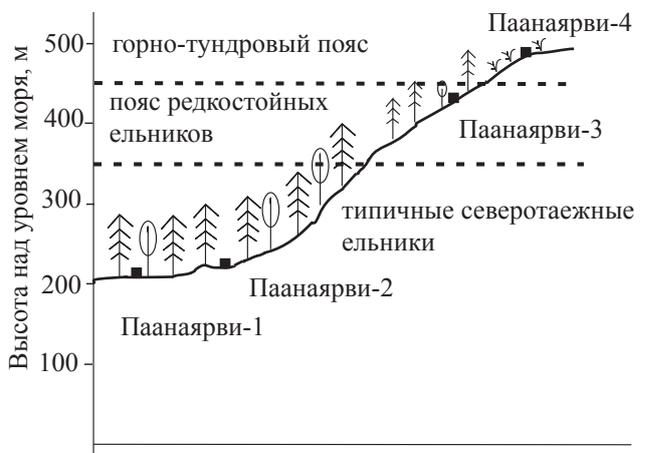


Рис. 1. Схема расположения постоянных пробных площадей

Fig. 1. Scheme of permanent plots location

растений проведен дисперсионный анализ и рассчитана сила влияния регулирующего фактора на изменчивость признака по формуле $\eta_x^2 = \sigma_a^2 / (\sigma_a^2 + \sigma_e^2)$, где σ_a – значение межгрупповой дисперсии, σ_e – значение внутригрупповой дисперсии [19].

Считается, что лесные сообщества возникли здесь на обширной гари не менее 300–350 лет назад и в настоящее время находятся на финальных этапах формирования разновозрастной структуры древостоя [3]. Основные таксационные характеристики заложенных пробных площадей приведены в табл. 1.

Анализируя данные табл. 1 и характер распределения числа стволов и запаса по 20-летним классам возраста на пробных площадях Паанаярви-1 и Паанаярви-2, можно сделать вывод, что здесь представлены практически девственные высоковозрастные ельники, возрастная структура которых на момент исследования является относительно разновозрастной, близкой к абсолютно возрастной стадии. Средний возраст древостоев – около 200 лет. Амплитуда колебаний возраста деревьев ели довольно значительна – от 80 до 300 лет. В составе древостоя отсутствуют деревья моложе 60 лет. Четко выражено и преобладает одно старое поколение, второе – с момента возникновения сообщества. Самое же первое поколение представлено отдельными уникальными экземплярами ели диаметром 44–46 см на высоте груди и высотой 26–28 м с возрастом около 300 лет.

Характерной особенностью пробной площади Паанаярви-3, расположенной на границе леса и тундровых сообществ, является наличие четко выраженных двух поколений ели с абсолютным преобладанием старшего 140-летнего поколения. Необходимо особо отметить, что в условиях низкогорного северотаежного ландшафта верхняя граница леса испытывает вековые колебания. Она то поднимается, то опускается в зависимости от направленности климатического тренда за последние 200–250 лет. Климатические условия здесь настолько суровы, что семенные годы, когда у местных лесообразующих хвойных видов формируется сравнительно большое количество физиологически зрелых семян,

случаются крайне редко – в среднем один раз в несколько десятилетий, вероятнее всего 1–2 раза за столетие. В нашем случае, очевидно, что существующая граница леса на склонах г. Кивакка сформировалась примерно 140 лет назад, после такого благоприятного семенного года. Затем аналогичная ситуация повторилась только через 40 лет. На момент исследования более молодых деревьев и подростов ели на пробе обнаружено не было. Пробная площадь Паанаярви-4, расположенная в вершинной части г. Кивакка, представляет собой вариант тундрового сообщества, где сомкнутый древесный полог уже не формируется.

При оценке фенотипической структуры популяций ели в НП «Паанаярви» было выявлено, что популяции Паанаярви-1 и Паанаярви -2 сходны по формовой структуре и представлены, главным образом, гибридными формами, близкими к ели сибирской (79,3 – 86,5 %). Ели гибридной формы, близкие к *P. abies*, составили от 13,5 % до 18,3 %. Присутствие деревьев *P. obovata* было единичным только на ПП Паанаярви 2 – 2,4 % [20].

На пробной площади Паанаярви-1, заложенной в типичном северотаежном ельнике черничном, почвенный покров представлен преимущественно подзолом иллювиально-гумусовым песчаным. Характеристика древостоя представлена в табл. 1. Подлесок редкий, представлен *Sorbus aucuparia* L. и *Juniperus communis* L. В травяно-кустарничковом ярусе доминирует *Vaccinium myrtillus* L. (35 %), высокопроективное покрытие *Avenella flexuosa* (L.) Drej. (5 %) и *Gymnocarpium dryopteris* (L.) Newm. (5 %). Высока встречаемость (25 % для каждого) пяти видов: *Linnaea borealis* L., *Luzula pilosa* (L.) Willd., *Maianthemum bifolium* (L.) F. W. Schmidt, *Melampyrum pratense* L. и *Vaccinium vitis-idaea* L. В мохово-лишайниковом ярусе наибольшее обилие имеют *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. (40 %) и *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp. (30 %).

В черничной группе типов леса в районе исследований также представлен ельник черничный влажный (ПП Паанаярви-2). Ухудшение условий стока способствовало формированию подзола иллювиально-гумусового оглеенного песчаного и торфяно-перегнойно-

Таксационная характеристика пробных площадей в НП «Паанаярви»
 Characteristics of permanent sample plots in the NP «Paanajärvi»

Показатели	Паанаярви-1	Паанаярви-2	Паанаярви-3	Паанаярви-4
Общий состав и структура	9,2Е 0,6Б 0,2Ос	9,3Е 0,7Б	9,4Е 0,6Б С ед.	4,0Е 2,8С 3,2Б (по числу стволов)
Возрастная структура еловой части	0,7Е ₁₄₀ 4,6Е ₁₈₀ 3,9Е ₂₂₀	1,0Е ₁₄₀ 3,9Е ₁₈₀ 4,4Е ₂₂₀	1,9Е ₁₀₀ 7,6Е ₁₄₀	–
Тип возрастной структуры	относительно разновозрастный	относительно разновозрастный	относительно разновозрастный	–
Тип леса	черничный	черничный влажный	воронично-черничный	–
Средний возраст, лет	194	194	140	–
Средний диаметр, см	25,9	22,6	14,3	3,7
Средняя высота, м	18,7	16,9	7,5	2,0
Запас, кбм/га	179,1	157,8	25,6	–
Число стволов, шт./га	590	585	568	320
Относит. полнота	0,68	0,46	0,38	–
Класс бонитета	IV	V	VI	–

глеевой слаборазвитой почвы. Временно избыточное увлажнение обусловило снижение значений таксационных показателей древесного яруса по сравнению с описанным ельником черничным (см. табл. 1). Подлесок редкий, представлен теми же видами (*Sorbus aucuparia* и *Juniperus communis*). Доминантом в травяно-кустарничковом ярусе является *Vaccinium myrtillus* (30 %), значительно проективное покрытие *Vaccinium vitis-idaea* (6 %). Лидирующая роль в сложении мохово-лишайникового яруса принадлежит *Pleurozium schreberi* (30 %) и роду *Sphagnum* (30 %). Высоко участие *Hylocomium splendens*, проективное покрытие которого составило 15 %. О влиянии особенностей гидрорежима на состав и структуру напочвенного покрова свидетельствует высокая (70 %) встречаемость на данном участке *Carex globularis* L., а также высокое обилие видов рода *Sphagnum* и *Polytrichum commune* Hedw., проективное покрытие которых составило 30 % и 5 % соответственно.

В промежутке высот 350–450 м простирается пояс предтундрового редколесья (ПП Паанаярви-3). Главным показателем, отражающим специфику сформировавшихся здесь ельников воронично-черничных, является их низкая полнота (0,38) и, как следствие, крайне низкий запас (табл. 1). По сравнению с нижележащим поясом типичных северотаежных ельников возрастная

структура древесного яруса существенно меняется. В видовом аспекте *Betula pubescens* Ehrh. сменяется на *B. czerepanovii*. В подлеске произрастают *Salix lapponum* L. и *Sorbus aucuparia*. В травяно-кустарничковом ярусе содоминируют *Vaccinium myrtillus* (30 %) и *Empetrum hermaphroditum* Hagerup (10 %), в мохово-лишайниковом ярусе доминирует *Pleurozium schreberi* (50 %), значительно участие *Hylocomium splendens* (7 %) и видов рода *Dicranum* (7 %).

В исследуемом ельнике воронично-черничном четко выражен микрорельеф, способствующий формированию контрастных гидротермических условий, что, в свою очередь, обуславливает высокую мозаичность почвенного покрова. Нами выявлено, что в данном сообществе ведущими почвообразовательными процессами являются подзоло- буроземо- глееобразование и торфонакопление, которые привели к формированию почв различных типов: торфяно-перегнойно-глеевые слаборазвитые, примитивные органогенные, подбур оподзоленный грубогумусный, горный подбур фрагментарно-оподзоленный грубогумусный.

Выше отметки 450 м начинаются кустарничковые тундры (ПП Паанарви-4), образующие горно-тундровый пояс, где сомкнутый древесный ярус отсутствует, а отдельно стоящие деревья *Picea obovata*, *Pinus sylvestris* L. и *Betula czerepanovii* имеют среднюю высоту

2,0 м и средний диаметр – 3,7 см. Крона тех из них, которые растут на открытых пространствах, подверженных сильному воздействию ветров, имеет флагообразную форму. Общий состав и структура древесного яруса представлены в табл. 1. Кустарниковый ярус образован *Betula nana* L. с примесью низкорослой *Salix phylicifolia* L. Характерной чертой растительного покрова сформировавшегося здесь сообщества является большая мозаичность горизонтального сложения всех ярусов, обусловленная частой сменой почвенно-гидрологических и микроклиматических условий. В травяно-кустарничковом ярусе наибольшее обилие имеет *Empetrum hermaphroditum* (30 %), значительно участие *Vaccinium myrtillus* (6 %), *V. uliginosum* L. (5 %) и *Arctous alpina* (L.) Niedenzu (5 %). Мохово-лишайниковый ярус сформирован, преимущественно, *Pleurozium schreberi* (30 %) и *Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar & Vezda (10 %), заметно участие *C. rangiferina* Hoffm. (5 %) и представителей рода *Dicranum* (5 %). Основной флористической особенностью горных кустарничковых тунд является присутствие в их составе арктоальпийских (*Juncus trifidus* L., *Loiseleuria procumbens* (L.) Desv.) и гипоарктических (*Arctous alpina*, *Empetrum hermaphroditum*, *Lycopodium lagopus* (Laest. ex Hartm.) Zinserl. ex Kuzen., *Pinguicula villosa* L. и др.) видов.

Считается, что с увеличением географической широты нижний предел пояса горно-тундровой растительности снижается. К примеру, на севере Мурманской области, на Печенгской возвышенности горно-тундровый пояс, образованный кустарничковыми тундрами, начинается с высоты 300 м [21]. По данным Р. Wardle [22], с уточнениями Ю. Н. Голубчикова [23], в Хибинах (67° с.ш.) он приурочен к интервалу высот 300–600 м, а в Скандинавских горах (57° с.ш.) горные тундры начинаются на высоте 1000 м. Наши исследования подтверждают это правило.

Анализ биоразнообразия исследованных сообществ показал, что растительные сообщества предтундрового редколесья и пояса горных тундр отличаются более высоким уровнем видового богатства по сравнению с зональными северотаежными еловыми леса-

ми. Так, значения показателя видового богатства (сосудистые растения) по мере возрастания высотного положения сообществ составляют ряд: 24 (ельник черничный), 20 (ельник черничный влажный), 27 (ельник воронично-черничный), 27 (кустарничковая тундра).

Сходная тенденция прослеживается при сравнении значений показателя α -разнообразия (индекс Шеннона), учитывающего данные обилия: ельник черничный – 0,78; ельник черничный влажный – 0,66; ельник воронично-черничный – 1,12; кустарничковая тундра – 1,76 (рис. 2).

Аналогичный характер изменчивости имеет и функция индекса точечного β -разнообразия (кривая 2), отражающая уровень гетерогенности внутриценотической структуры сообществ. В ельнике черничном выявлены 14 типов микрогруппировок (МГ), или пятен доминирования, а значение отношения ЧТ/ОКМ равно 0,5. Наиболее распространенной является *Avenella flexuosa-Vaccinium myrtillus* МГ. Необходимо пояснить, что при выделении микрогруппировок нами учитывался характер распределения древесных растений на ПП, но поскольку древесный ярус образован преимущественно одним видом (в ельниках) и отсутствует в поясе кустарничковой тундры, мы опускаем видовое название лесобразующей породы при обозначении выявленных морфоэлементов. В ельнике черничном влажном выявлены 7 типов МГ и отношение ЧТ/ОКМ составляет 0,4. Самым распространенным сочетанием является *Carex globularis-Vaccinium vitis-idaea-V. myrtillus*. Следует отметить, что в данном сообществе отмечены наименьшие значения всех рассчитанных критериев биоразнообразия, что обусловлено особенностями экотопических условий, прежде всего замедлением внутрпочвенного стока воды из-за отрицательной формы рельефа. В горизонтальной структуре ельника воронично-черничного нами выделены 7 типов МГ из 9 возможных, поэтому отношение ЧТ/ОКМ равно 0,8. В сообществе кустарничковой тундры все выявленные 12 МГ уникальны по составу, отношение ЧТ/ОКМ равно 1.

Отмечена следующая особенность изменения горизонтального строения раститель-

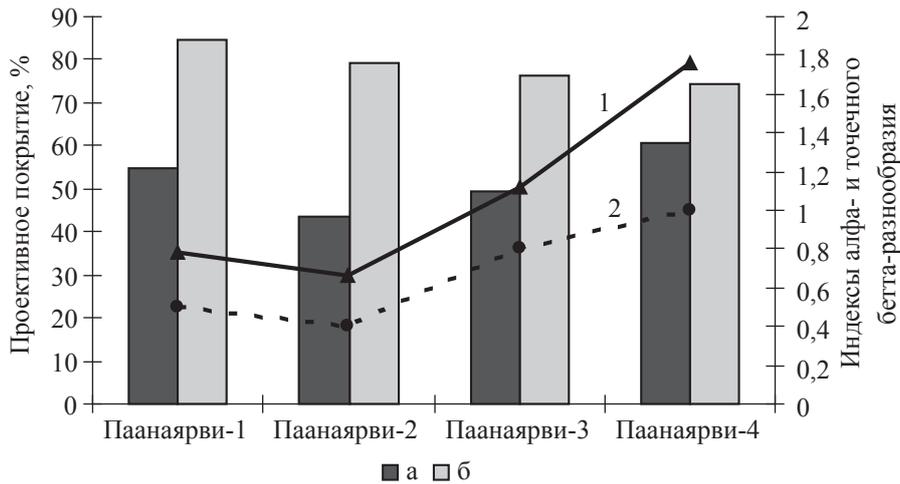


Рис. 2. Изменение общего проективного покрытия травяно-кустарничкового (а) и мохово-лишайникового (б) ярусов, а также значений α -разнообразия (1) и точечного β -разнообразия (2)
 Fig. 2. Changes in the general projective cover of herbal and dwarf shrub (a) and moss-lichen (b) layers, as well as the values of α -diversity (1), and mosaic β -diversity (2)

ного покрова с увеличением высоты. С одной стороны, наблюдается увеличение числа содоминирующих в микрогруппировках видов, а с другой – увеличение обилия каждого из них. То есть, если принять за порог доминирования проективное покрытие видов травяно-кустарничкового яруса в 5 %, то в сообществах зонального типа 56 % МГ (в ельнике черничном) и 69 % МГ (в ельнике черничном влажном) сложены одним доминирующим видом, на МГ с двумя содоминантами приходится 25 % и 31 % соответственно и только 19 % МГ в ельнике черничном имеют в своем составе три содоминанта (в ельнике черничном влажном такие МГ не выявлены). Для ельника воронично-черничного (пояс предтундрового редколесья) характерно преобладание МГ, включающих 2 и более содоминанта, так называемых двух-, трех- и четырехчленных МГ. На их долю приходится 77 % МГ от всех выявленных на пробной площади. И только в двух МГ (23 %) обилие лишь одного вида достигает или превышает порог 5 %. На вершине г. Кивакка 41 % всех выявленных МГ сложены четырьмя содоминантами, по 17 % приходится на одно-, трех- и пятичленные МГ, одна МГ включает два содоминанта.

Следует отметить, что в поясе кустарничковых тундр на фоне увеличения обилия видов травяно-кустарничкового яруса, преимущественно за счет возрастания фитоценотической роли кустарничков, незначительно

снижается плотность сложения мохово-лишайникового яруса (рис. 2).

Помимо показателей биоразнообразия была проанализирована эколого-ценотическая структура ценофлор рассматриваемых сообществ. Как показали результаты исследования, основу растительных сообществ в низкогорном ландшафте северотаежной подзоны составляют лесные виды (рис. 3). Так, суммарная представленность видов первой, второй и четвертой групп в ельнике черничном и ельнике черничном влажном составляет 96 % и 95 % соответственно. Далее с увеличением высоты местности доля лесных видов в эколого-ценотической структуре сообществ снижается. В поясе предтундрового редколесья она составляет 85 %, а в сообществе горных тундр – 70 %. При этом с высотой наблюдается перераспределение участия отдельных групп среди лесных видов. Как показано на диаграмме (рис. 3), для сообществ кустарничковой тундры характерно снижение фитоценотической роли лесных видов, произрастающих на средних по степени богатства почвах в пользу лесных видов, способных выдерживать широкую амплитуду колебаний экологических факторов.

С увеличением гетерогенности экотопических условий на более высоких отметках ландшафта связано и усложнение эколого-ценотической структуры сообществ. Если в зональных еловых древостоях нами выявлены четыре ЭЦГ, то в сообществах пред-

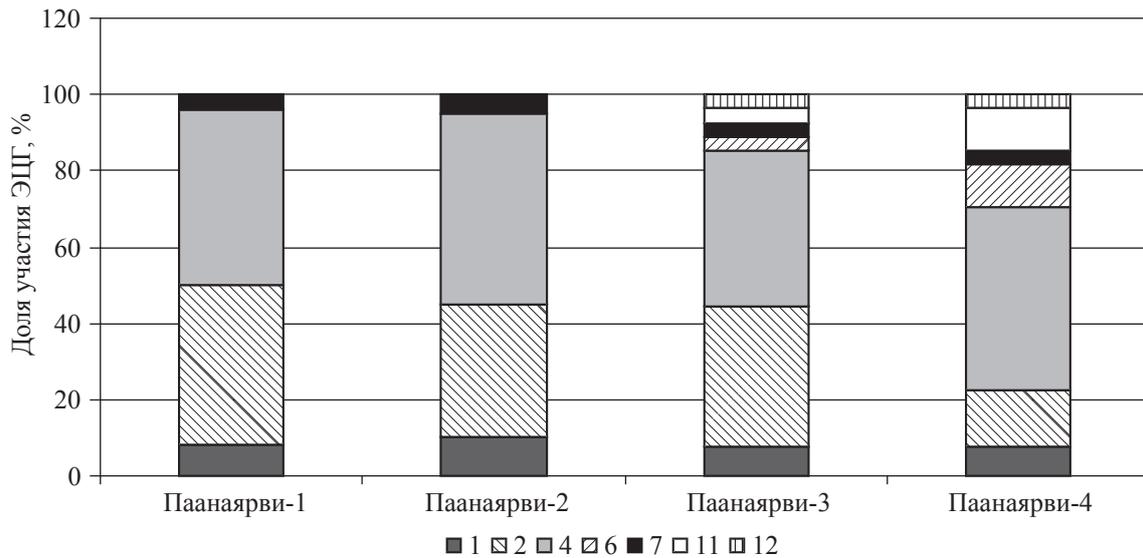


Рис. 3. Эколого-ценотическая структура исследованных сообществ: 1 – лесные виды, наиболее требовательные к почвенному плодородию и произрастающие при значительном затенении; 2 – лесные виды, произрастающие на средних по степени богатства почвах; 4 – лесные виды с широкой экологической амплитудой; 6 – болотные олиготрофные виды; 7 – луговые; 11 – скальные; 12 – водные и прибрежно-водные виды. Нумерация эколого-ценотических групп приведена в соответствии с классификацией М.Л.Раменской (1983)

Fig. 3. Ecological and coenosis structure of communities investigated: 1 – species having the highest demands for soil fertility and growing under minor shadowing; 2 – mesotrophic species; 4 – forest species with a wide ecological range; 6 – uliginous oligotrophic species; 7 – meadow species; 11 – rocky species; 12 – hydrophytes and beach aquatic plants



Рис. 4. Влияние высотного положения исследованных сообществ на проективное покрытие сосудистых растений. Условные обозначения: 1 – *Empetrum hermaphroditum*; 2 – *Vaccinium myrtillus*; 3 – *Ledum palustre*; 4 – *Linnaea borealis*; 5 – *Melampyrum pratense*. По оси ординат (а) – проективное покрытие видов 1, 2, по оси ординат (б) – проективное покрытие видов 3, 4, 5

Fig. 4. Impact of vertical differentiation of plant communities investigated on a projective cover of vascular plants. Legend: 1 – *Empetrum hermaphroditum*; 2 – *Vaccinium myrtillus*; 3 – *Ledum palustre*; 4 – *Linnaea borealis*; 5 – *Melampyrum pratense*. Ordinate axis (a) – projective cover of the species 1 and 2 ; ordinate axis (b) – projective cover of the species 3, 4, 5

тундрового редколесья и кустарничковых тундр – по семь ЭЦГ. Таким образом, в низкогорном ландшафте северной Карелии при переходе от зональных сообществ к предтун-

дровым и тундровым наблюдается изменение количества и состава флорценоэлементов.

Высотное положение относится к ряду комплексных факторов [17]. Положение

Оценка влияния фактора высоты над уровнем моря (м) на обилие общих для исследованных сообществ видов сосудистых растений
Influence of elevation on abundance of vascular plant species common for all the communities investigated (ANOVA results)

Название вида	F-критерий Фишера	Сила влияния фактора (η^2_x), %
<i>Empetrum hermaphroditum</i>	29,6	63***
<i>Vaccinium myrtillus</i>	5,5	21**
<i>Ledum palustre</i>	7,6	28***
<i>Linnaea borealis</i>	4,1	16**
<i>Melampyrum pratense</i>	2,9	10*
<i>Avenella flexuosa</i>	1,2	–
<i>V. vitis-idaea</i>	2,5	–

Примечание: * $P = 0,05$; ** $P = 0,01$; *** $P = 0,001$ при $F_{st} = [2,7-4,1-6,1]$

над уровнем моря определяет температурный режим, режим увлажнения, физические и химические свойства почв и другие характеристики экотопа, то есть опосредованно через изменение экологических параметров среды влияет на рост и развитие растений напочвенного покрова. Поэтому нами была поставлена цель выявить тренды изменения обилия видов напочвенного покрова в зависимости от фактора высоты над уровнем моря.

Общими для всех исследованных сообществ являются 7 видов: *Avenella flexuosa*, *Empetrum hermaphroditum*, *Ledum palustre* L., *Linnaea borealis*, *Melampyrum pratense*, *Vaccinium myrtillus* и *V. vitis-idaea*. В результате проведения однофакторного дисперсионного анализа и расчета силы влияния фактора (табл. 2) установлено сильное положительное влияние высотного положения исследованных сообществ на проективное покрытие *Empetrum hermaphroditum* и *Ledum palustre*, а также отрицательное – на проективное покрытие *Linnaea borealis*, *Melampyrum pratense* и *Vaccinium myrtillus* (рис. 4). Увеличение обилия гипоарктического вида *Empetrum hermaphroditum* и гипоарктобореального вида *Ledum palustre* с высотой вполне закономерно. Снижение обилия черники и видов таежного мелкотравья при переходе от зональных ельников к сообществу кустарничковых тундр объясняется, вероятно, ослаблением влияния древесного яруса, создающего оптимальные экологические условия для произрастания данных видов. Достоверного влияния фактора высоты на обилие *Avenella flexuosa* и *Vaccinium vitis-idaea* не обнаружено

(табл. 2). Оба эти вида характеризуются весьма высокой экологической пластичностью, и, вероятно, их экологический оптимум перекрывает амплитуду варьирования выбранного фактора в данных конкретных условиях местопроизрастания.

В заключение следует сказать, что предел распространения пряморастущих деревьев лесообразующей породы в условиях самых южных низкогорий Восточной Фенноскандии проходит на высоте 450–470 м над уровнем моря, что обусловлено приполярным положением исследуемой территории и согласуется с общей закономерностью снижения верхней границы леса с увеличением географической высоты. Нами установлено, что закономерности почвообразования, а также обилие ряда видов напочвенного покрова, в том числе доминантов травяно-кустарничкового яруса, во многом обусловлено влиянием высотного положения сообществ. Несмотря на малую протяженность поясов, занятых редколесьем и горными тундрами, данные сообщества характеризуются заметно более высоким уровнем флористического богатства, α -разнообразия, точечного β -разнообразия в силу пестроты микроклиматических, эдафических и гидрологических условий по сравнению с зональными северотаежными еловыми лесами. С увеличением гетерогенности экотопических условий на более высоких отметках ландшафта связано и усложнение эколого-ценотической структуры сообществ, при этом наблюдается повышение фитоценотической роли лесных видов с широкой экологической

амплитудой. Анализируя изменение внутри-ценотической структуры исследованных сообществ вдоль высотного градиента, отмечаем, что при переходе от зональных сообществ к предтундровым и тундровым наблюдается увеличение числа и обилия содоминирующих видов в микрогруппировках.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке проекта «Генетическая изменчивость малонарушенных популяций ели финской *Picea × fennica* Regel Kom. в Карелии» Подпрограммы «Генофонды и генетическое разнообразие» Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Биологическое разнообразие» и государственного задания ИЛ КарНЦ РАН (тема № 0220-2014-0007).

Библиографический список

- Vasari, Y. Finnish botanical studies within the Paanajärvi National Park before 1944 / Y. Vasari // Oulanka Reports. – 1998. – Т. 19. – Р. 5-9.
- Кравченко, А.В. Сосудистые растения национального парка «Паанаярви» / А.В. Кравченко, О.Л. Кузнецов // Труды КарНЦ РАН. Серия Биогеография. – 2008. – Вып. 12. – С. 45–63.
- Громцев, А.Н. Леса района национального парка «Паанаярви»: природные особенности, современное состояние, планирование использования / А.Н. Громцев, П.Ю. Литинский // Труды КарНЦ РАН. Серия Б. «Биология». Природа национального парка «Паанаярви». – 2003. – Вып. 3. – С. 15–19.
- Национальный парк Паанаярви : препр. докл. / В.В. Белкин и др. – Петрозаводск: Карел. науч. центр АН СССР, 1991. – 58 с.
- Шелехов, А.М. Леса национального парка «Паанаярви» / А.М. Шелехов // Научно-исследовательская работа на территории национального парка «Паанаярви»: Школа – вуз – Академия наук: тезисы семинара. – Петрозаводск, 2000. – С. 15–17.
- Шелехов, А.М. Характеристика лесного фонда национального парка «Паанаярви» / А.М. Шелехов // Труды КарНЦ РАН. Серия Б. Биология. Природа национального парка «Паанаярви». – 2003. – Вып. 3. – С. 178–181.
- Сыстра, Ю.Й. Древнее скальное основание / Ю.Й. Сыстра // Паанаярвский национальный парк: сб. науч. работ. – Куусамо, 1993. – С. 25–30.
- Геоботаническое районирование Нечерноземья европейской части РСФСР / В.Д. Александрова [и др.]. – Л.: Наука, 1989. – 64 с.
- ОСТ 56:69:83. Площади пробные лесоустroительные. Методы закладки. Порядок рассмотрения и утверждения возрастов рубок главного пользования лесом. – Приказ Рослесхоза от 28.05.93 № 134.
- Морозова, Р.М. Лесные почвы Карелии / Р.М. Морозова. – Л.: Наука, 1991. – 184 с.
- Полевая геоботаника / Под общ. ред. Е.М. Лавренко, А.А. Корчагина. – М.-Л.: Наука, 1964. – Т. 3. – 530 с.
- Раменская, М.Л. Анализ флоры Мурманской области и Карелии / М.Л. Раменская. – Л.: Наука, 1983. – 216 с.
- Правдин, Л.Ф. Ель европейская и ель сибирская в СССР / Л.Ф. Правдин. – М.: Наука, 1975. – 180 с.
- Розенберг, Г.С. Информационный индекс и разнообразие: Больцман, Котельников, Шеннон, Уивер / Г.С. Розенберг // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. – 2010. Т. 19, № 2. – С. 4–25.
- Татаринов, А.С. Видовое разнообразие и методы его оценки: учеб. пособие для вузов / А.С. Татаринов, М.М. Долгин. – Сыктывкар: Коми научный центр, 2010. – 44 с.
- Whittaker, R.H. Evolution of species diversity in land communities / R.H. Whittaker // Journal of Evolutionary Biology. – 1977. – Vol. 10. – P. 1-67.
- Ипатов, В.С. Фитоценология / В.С. Ипатов, Л.А. Кирикова. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 1999. – 316 с.
- Рудковская, О.А. Структура напочвенного покрова / О.А. Рудковская, А.М. Крышень // Разнообразие почв и биоразнообразие в лесных экосистемах средней тайги: сб. науч. работ. – М.: Наука, 2006. – С. 208–214.
- Котов, М.М. Применение биометрических методов в лесной селекции учеб. пособие / М.М. Котов, Э.П. Лебедева. – Горький: Изд-во ГГУ, 1977. – 119 с.
- Ильинов, А.А. Сравнительная оценка фенотипического и генетического разнообразия северотаежных малонарушенных популяций ели финской (*Picea x Fennica*) / А.А. Ильинов, Б.В. Раевский, О.А. Рудковская и др. // Труды КарНЦ РАН. Сер. Биогеография. – 2011. – Вып. 11, – № 1. – С. 37–47.
- Раменская, М.Л. Растительность Печенгских тундр / М.Л. Раменская // Флора и растительность Мурманской области: сб. науч. тр. – Л.: Наука, 1972. – С. 32-53.
- Wardle, P. Alpine timberlines / P. Wardle // Arctic and Alpine Environments. – 1974. – P. 371-402.
- Голубчиков, Ю.Н. География горных полярных стран / Ю.Н. Голубчиков. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996. – 303 с.

COMPARATIVE BIODIVERSITY ASSESSMENT OF PLANT COMMUNITIES IN LOW-MOUNTAIN LANDSCAPE OF PAANAJÄRVI NATIONAL PARK

Rudkovskaya O.A., FRI KarRC RAS, Ph. D. (Biol.)⁽¹⁾; Raevsky B.V., FRI KarRC RAS, Ph. D. (Agricultural)⁽¹⁾; Il'inov A.A., FRI KarRC RAS, Ph. D. (Agricultural)⁽¹⁾; Medvedeva M.V., FRI KarRC RAS, Ph. D. (Biol.)⁽¹⁾

rudkov.o@yandex.ru, borisraevsky@gmail.com, mariamed@krc.karelia.ru, ialexa33@yandex.ru
⁽¹⁾ Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia

The article deals with the vertical differentiation of plant community structure investigated in the low-mountain landscape of Paanajärvi National Park, which is located in the northwest of the Republic of Karelia. Botanical research in the territory of the National Park has been carried out for more than 150 years, however, the data on the comparative biodiversity assessment of plant

communities in low-mountain landscape are currently not available. The aim of this study was to investigate the structure of plant communities at permanent plots located at the foot of Kivakka mountain (499,5 m) in typical zonal northern taiga spruce forests, as well as in the southwest hillside in the open boreal of woodland and mountain tundra zones. It has been found out that plant communities of open boreal woodland and mountain tundra zones were superior to typical zonal northern taiga spruce forests in species richness and species diversity (α -diversity, Shannon-Weaver index). The same was true concerning mosaic β -diversity. These significant differences are caused by a variety of microclimatic, edaphic and hydrological conditions. The rising ecotope heterogeneity at higher altitudes brings about a complication of plant community coenotic structure. Simultaneously the share of forest species with a wide ecological range is increasing. It has also been revealed that the number of codominant species in micro communities and their abundance goes up as the altitude increases. The results of ANOVA have shown statistically significant influence of plant community altitudinal location on the projective cover of some vascular plants (*Empetrum hermaphroditum*, *Ledum palustre*, *Linnaea borealis*, *Melampyrum pratense* and *Vaccinium myrtillus*).

Key words: low-mountain landscape, α -diversity, β -diversity, vertical differentiation, coenotic structure, vascular plants

References

1. Vasari, Y. Finnish botanical studies within the Paanajärvi National Park before 1944. Oulanka Reports. 1998. V. 19. pp. 5-9.
2. Kravchenko A.V., Kuznetsov O.L. *Sosudistye rasteniya natsional'nogo parka «Paanajarvi»* [Vascular plants of the Paanajärvi National Park]. Trudy KarNTs RAN. Seriya Biogeografiya [Proceedings of Karelian Research centre of Russian Academy of Science. Series Biogeography]. 2008. Iss. 12. pp. 45-63.
3. Gromtsev A.N. *Lesnaya rayona natsional'nogo parka «Paanajarvi»: prirodnye osobennosti, sovremennoe sostoyanie, planirovanie ispol'zovaniya* [Forests of the Paanajarvi National Park area: natural features, current state, planning of forest use]. Trudy KarNTs RAN. Seriya B. «Biologiya». Priroda natsional'nogo parka «Paanajarvi» [Proceedings of Karelian Research centre of Russian Academy of Science. Series B. «Biology». The nature of the national park «Paanajarvi»]. 2003. Iss. 3. pp. 15-19.
4. Belkin V.V., Kravchenko A.V., Kuznetsov O.L., Kuchko A.A., Lukashov A.D., Ryabinkin A.V., Sazonov S.V., Systra Yu.Y., Freyndling V.A., Shustov Yu.A., Il'in V.I., Rukosuev S.I. *Natsional'nyy park Paanajarvi* [Paanajärvi National Park]. Petrozavodsk: Karelian Research centre of Russian Academy of Science Publ., 1991. 58 p.
5. Shelekhov A.M. *Lesnaya natsional'nogo parka «Paanajarvi»* [Forests of the Paanajärvi National Park]. Nauchno-issledovatel'skaya rabota na territorii natsional'nogo parka «Paanajarvi»: Shkola – vuz – Akademiya nauk [Investigations within the territory of the NP «Paanajarvi»]. Petrozavodsk, 2000. pp. 15-17.
6. Shelekhov A.M. *Kharakteristika lesnogo fonda natsional'nogo parka «Paanajarvi»* [Characteristics of the Paanajarvi NP forest land]. Trudy KarNTs RAN. Seriya B. Biologiya. Priroda natsional'nogo parka «Paanajarvi» [Proceedings of Karelian Research centre of Russian Academy of Science. Series B. «Biology». The nature of the national park «Paanajarvi»]. 2003. Iss. 3. pp. 178-181.
7. Systra Yu.Y. *Drevnee skal'noe osnovanie* [Ancient bedrocks]. Paanajarvskiy natsional'nyy park [Paanajärvi National Park]. Kuusamo, 1993. pp. 25-30.
8. Aleksandrova V.D., Gribova S.A., Isachenko T.I., Nepomilueva N.I., Ovesnov S.A., Payanskaya-Gvozdeva I.I., Yurkovskaya T.K. *Geobotanicheskoe rayonirovanie Nechernozem'ya evropeyskoy chasti RSFSR* [Geobotanical zoning of Nonchernozemic zone of the European part of Russian Federation]. Leningrad: Nauka Publ., 1989. 64 p.
9. OST 56:69:83. *Ploshchadi probnyye lesoustroitel'nye. Metody zakladki. Poryadok rassmotreniya i utverzhdeniya vozrastov rubok glavnogo pol'zovaniya lesom* [Sample areas procedure in forest assessment. Procedure of cutting age approval for commercial logging. Directive of Rosleshoz of 28.05.93 No 134].
10. Morozova, R.M. *Lesnye pochvy Karelii* [Forest soils of Karelia]. Leningrad: Nauka Publ., 1991. 184 p.
11. *Polevaya geobotanika* [Field geobotany]. Moscow-Leningrad: Nauka Publ., 1964. Vol. 3. 530 p.
12. Ramenskaya M.L. *Analiz flory Murmanskoy oblasti i Karelii* [Analysis of the flora of Murmansk region and Karelia]. Leningrad: Nauka Publ., 1983. 216 p.
13. Pravdin L.F. *El' evropeyskaya i el' sibirskaya v SSSR* [*Picea abies* and *Picea sibirica* in USSR]. Moscow: Nauka Publ., 1975. 180 p.
14. Rozenberg G. S. *Informatsionnyy indeks i raznoobrazie: Boltzman, Kotelnikov, Shennon, Uiver ...* [Information index and diversity: Boltzman, Kotelnikov, Shannon, Weaver...]. Samarskaya Luka: problemy regional'noy i global'noy ekologii [Samarskaya Luka: regional ecology problems]. 2010. Vol. 19, No 2. pp. 4-25.
15. Tatarinov A.S., Dolgin M.M. *Vidovoe raznoobrazie i metody ego otsenki* [Techniques of species biodiversity assessment]. Syktyvkar: Komi Research Centre Publ., 2010. 44 p.
16. Whittaker, R.H. Evolution of species diversity in land communities / R.H. Whittaker. *Journal of Evolutionary Biology*. 1977. Vol. 10. pp. 1-67.
17. Ipatov V.S., Kirikova L.A. *Fitotsenologiya* [Phytosociology]. St. Petersburg: St. Peterburg Univ. Publ., 1999. 316 p.
18. Rudkovskaya O.A., Kryshen' A.M. *Struktura napochvennogo pokrova* [Structure of sub-soil cover]. *Raznoobrazie pochv i bio-raznoobrazie v lesnykh ekosistemakh sredney taygi* [Soil diversity and biodiversity in the middle-taiga ecosystems:]. Moscow: Nauka Publ., 2006. pp. 208-214.
19. Kotov M.M., Lebedeva E.P. *Primenenie biometricheskikh metodov v lesnoy seleksii* [Application of biometric methods in forest tree breeding]. Gor'kiy: GGU Publ., 1977. 119 p.
20. Il'inov A.A., Raevskiy B.V., Rudkovskaya O.A., Topchieva L.V. *Sravnitel'naya otsenka fenotipicheskogo i geneticheskogo raznoobraziya severotaezhnykh malonarushennykh populyatsiy eli finskoy (Picea x Fennica)* [Comparative assessment of the pheno- and genotype diversity of old-growth northern taiga (*Picea x Fennica*) populations]. Trudy KarNTs RAN. Ser. Biogeografiya [Proceedings of Karelian Research centre of Russian Academy of Science. Series Biogeography]. 2011. Iss. 11, No. 1. pp. 37-47.
21. Ramenskaya M.L. *Rastitel'nost' Pechengskikh tundr* [Vegetation of Pechenga tundra]. *Flora i rastitel'nost' Murmanskoy oblasti* [Flora and vegetation of the Murmansk region]. Leningrad: Nauka Publ., 1972. pp. 32-53.
22. Wardle P. *Alpine timberlines. Arctic and Alpine Environments*. 1974. pp. 371-402.
23. Golubchikov Yu.N. *Geografiya gornyykh polyarnyykh stran* [Geography of mountainous polar lands]. Moscow: Moscow Univ. Publ., 1996. 303 p.

УДК 581.54

КЛИМАТИЧЕСКИЙ СИГНАЛ ЗАСУХ В ХРОНОЛОГИИ ЕЛИ ИЗ КИСЛОТНОГО ТИПА ЛЕСА ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОГО ЗАПОВЕДНИКА

Д.Е. РУМЯНЦЕВ, *проф. МГУЛ, д-р. биол. наук*⁽¹⁾,

А.Е. КУХТА, *Институт Глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, канд. биол. наук*⁽²⁾

Д.В. ПУЧИНСКАЯ, *мл. науч. сотрудник Института Глобального климата и экологии Росгидромета и РАН*⁽²⁾

dendro@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ФГБОУ ВО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1

⁽²⁾Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН
107258, Москва, ул. Глебовская, 20Б

Изменчивость радиального прироста ели Центрально-лесном государственном природном биосферном заповеднике уже неоднократно становилась объектом внимания исследователей. Но в этих работах не использовался подход, связанный с корреляционным анализом рядов метеопараметров и рядов, характеризующих динамику радиального прироста. Исследованию сопряженности колебаний радиального и линейного прироста сосны обыкновенной, а также климатических факторов, их обуславливающих, было посвящено исследование А.Е. Кухты и Д.Е. Румянцев (Кухта, Румянцев, 2010). Актуальность продолжения исследований в этом направлении видится в том, что с того момента прошел заметный промежуток времени, и, в частности, наблюдалась масштабная засуха 2010 г. Целью данного исследования являлась оценка ее влияния на ширину годичного кольца и сравнение ее масштабов с засухами прошлых лет. В результате чего были сделаны выводы о том, что изменчивость радиального прироста ели на исследуемой пробной площади содержит выраженный климатический сигнал, связанный с колебанием уровня температур в начале и в конце вегетационного периода. А остаточная компонента, полученная вычитанием из модельных значений индексов прироста его реальных значений, содержит засухозависимый климатический сигнал с периодичностью около 5 лет. Распределение лет локальных экстремумов прироста в этой компоненте демонстрирует отчетливую связь с распределением экстремумов в ряду суммы осадков июня по годам, а также экстремумов в ряду объединенной суммы осадков июня текущего и прошлого года. Полученные результаты имеют прогностическую ценность: на основании данных о температурах октября и температурах апреля можно предсказывать успешность роста ели в текущем календарном году еще в самом начале вегетационного сезона. С учетом периодичности колебания индекса водного дефицита можно предсказывать развитие засух и, в частности, прогнозировать формирование физиологически значимых засушливых условий.

Ключевые слова: ель, климатический сигнал, радиальный прирост, засуха, дендрохронология, дендроклиматология.

Изменчивость радиального прироста ели Центрально-лесном государственном природном биосферном заповеднике уже неоднократно становилась объектом внимания исследователей [1, 2]. Совершенствованию методических аспектов реконструкции естественных нарушений в еловых лесах по данным дендрохронологической информации посвящена работа [3]. В этих работах не использовался подход, связанный с корреляционным анализом рядов метеопараметров и рядов, характеризующих динамику радиального прироста.

Исследованию сопряженности колебаний радиального и линейного прироста сосны обыкновенной, а также климатических факторов, их обуславливающих, было посвящено исследование А.Е. Кухты и Д.Е. Румянцев [4].

Исследования влияния климатических факторов на прирост ели в условиях ЦЛГПБЗ методом корреляционного анализа ранее выполнялись Д.Е. Румянцевым и П.Г. Мельником [5, 6]. Ими исследовались ряды общей ширины годичного кольца и ряды доли поздней древесины в годичном кольце. Достоверных корреляций средами доли поздней древесины в годичном кольце авторами обнаружено не было. Достоверные значения коэффициентов корреляции были обнаружены между хронологиями и рядами по таким показателям, как осадки января (ельник черничный – значение коэффициента корреляции 0,34), осадки августа (ельник липовый – 0,32; ельник черничный – 0,38; ельник кисличник – 0,47); осадки сентября (ельник липовый – 0,39); температура мая (ельник липовый – 0,39; ельник черничный – 0,41); температура сентября (ельник

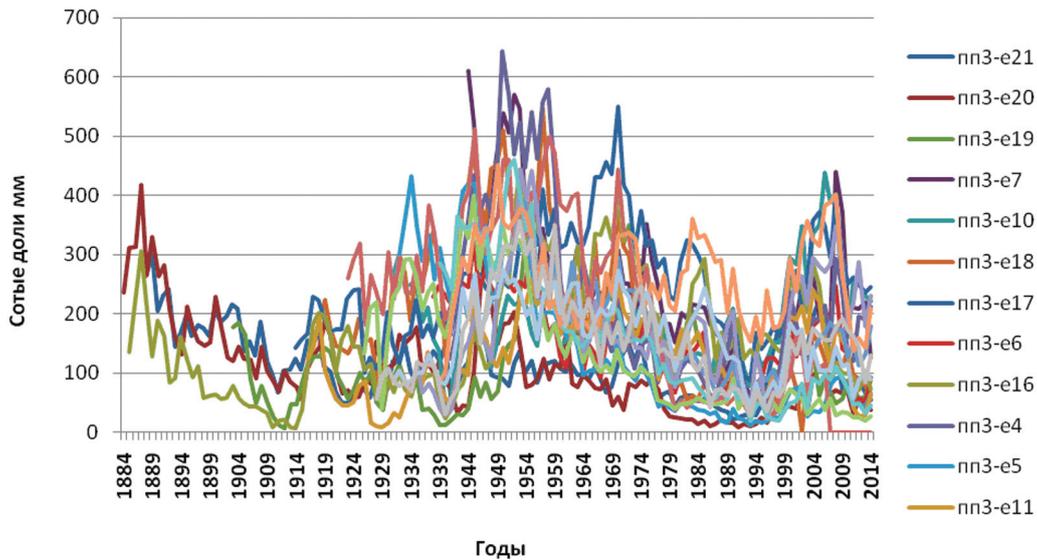


Рис. 1. Динамика ширины годичного кольца у деревьев ели на пробной площади 3 по годам
 Fig. 1. Dynamics of tree ring width of spruce trees at plot 3 by the years

липовый – 0,37). Актуальность продолжения исследований в том, что прошел заметный промежуток времени и, в частности, наблюдалась масштабная засуха 2010 г. Исследование её влияния на структуру годичного кольца и на основе индикационных показателей оценка ее масштабов в экофизиологическом смысле слова по сравнению с засухами прошлых лет было целью данного исследования.

Отбор образцов древесины нами производился с помощью бурава Пресслера по одному буровому керну с каждого учетного дерева на высоте 1,3 м по произвольно взятому радиусу. Направление отбора керна при этом фиксировалось. Если на высоте 1,3 м была расположена мутовка, то место отбора образца смещалось на 10 см выше или ниже намеченного. Отобранные образцы укладывались в бумажные конверты специальной формы, которые этикетировались.

На исследуемой пробной площади основной древостой представлен елью обыкновенной количестве 80 % объема по запасу, в количестве 10 % по запасу здесь произрастают береза и осина. В подлеске присутствуют лещина, вяз шершавый, клен остролистный, крушина обыкновенная, жимолость лесная, рябина, липа. В подросте присутствует ель. В живом напочвенном покрове были отмечены следующие виды: кислица обыкновенная, ожика волосистая, зеленчук желтый, звезд-

чатка жестколистная, майник двулистный, седмичник европейский, хвощ лесной, черника, осока волосистая, мниум волнистый, голокучник Линнея трехраздельный, костяника, печеночница благородная, медуница северная, борец северный и др.

Измерения ширины годичных колец проводились в лаборатории дендрохронологии Института географии РАН с помощью прибора Lintab-6 с точностью до 0,01мм; для контроля за правильностью измерений выполнялась перекрестная датировка в программе TSAP-Win. Полученные в результате древесно-кольцевые хронологии отражают графики на рис. 1.

Видно, что ширина годичного кольца у деревьев ели существенным образом варьирует. Близкими к минимальным значениями характеризуется учетное дерево 6. Стабильно высокими значениями характеризуется, например, учетное дерево 1.

Полученные индивидуальные хронологии были сглажены расчетом 11-летнего скользящего среднего, и на их основе рассчитана средняя хронология, приведенная на рис. 2.

На основании рис.2 можно предположить существование 43-летнего цикла изменчивости прироста: минимум 1911 – максимум 1954 – минимум 1997. В последние годы насаждение находится в фазе роста ветви цикла

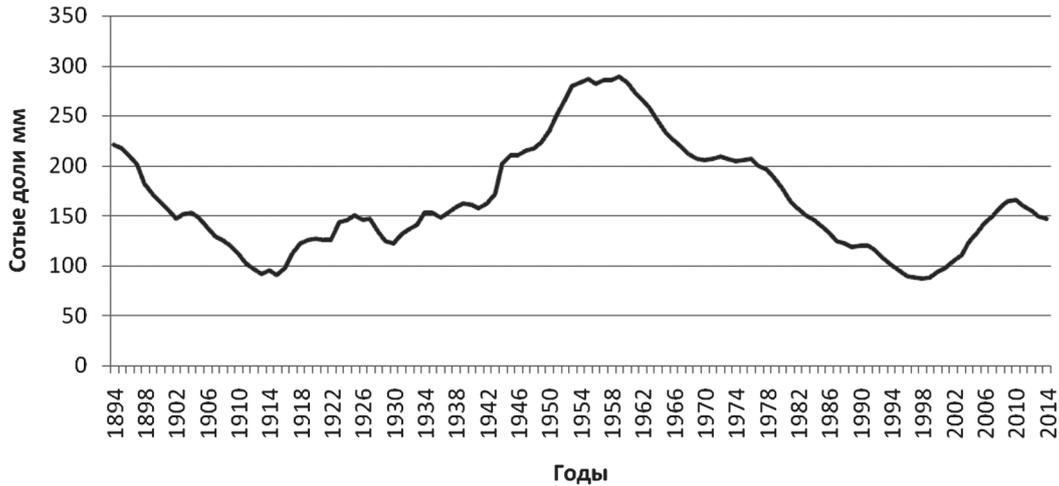


Рис. 2. Динамика 11-летней средней ширины годичного кольца по годам
 Fig. 2. Dynamics of 11-year annual tree ring width by the years

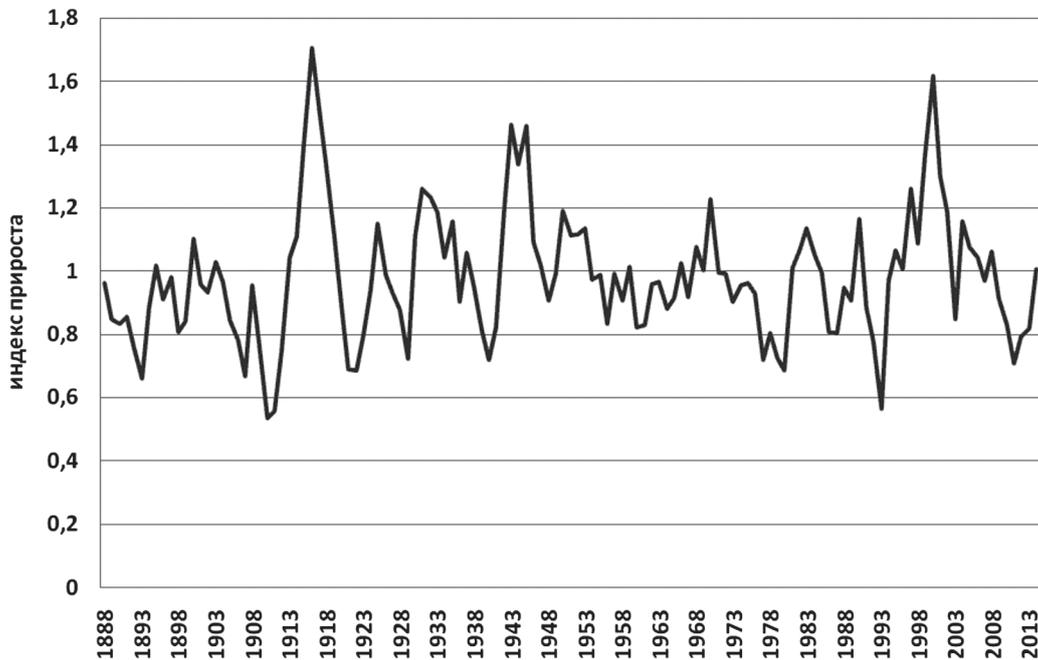


Рис.3. Динамика индексов радиального прироста ели по годам
 Fig. 3. Dynamics of indexes of spruce radial growth by the years

и должно характеризоваться относительно высокой устойчивостью вплоть до 2040 г.

Индивидуальные хронологии по ширине годичного кольца были преобразованы в во временные ряды индексов прироста отнесением ширины годичного кольца к средней ширине годичного кольца за последние 5 лет [7]. Результаты расчета приведены на графике (рис. 3).

Для выявления климатической обусловленности колебаний индексов радиального прироста был использован корреляционный

анализ, а также данные метеостанции Центрально-лесного заповедника за 1970–2011 гг. При числе степеней свободы 40 у уровня доверительной вероятности 0,95 достоверны значения коэффициентов корреляции от 0,30 [8]. Для уровня доверительной вероятности 0,99 пороговое значение коэффициента корреляции составляет 0,40 и выше.

Результаты выполненных расчетов отражены в табл. 1. Из данных таблицы видно, что достоверная на уровне 0,95 корреляция обнаружена со среднемесячными температу-

Значения коэффициентов корреляции между индексами прироста ели и метеопараметрами текущего и прошлого календарного года
The means of correlation coefficients between the indexes of spruce growth and meteoroparameters of calendar and previous year

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Среднемесячная температура года формирования годичного кольца	0,25	0,15	0,14	0,48	0,26	0,06	0,29	0,17	0,19	0,38	0,13	0,09
Месячная сумма осадков года формирования годичного кольца	0,06	0,28	0,1	-0,04	-0,22	0,1	-0,11	-0,3	-0,31	0,12	0,07	-0,1
Среднемесячная температура в год, предшествовавший году формирования годичного кольца	0,29	0,07	-0,09	0,38	-0,17	0,22	0,2	-0,14	0,11	0,52	-0,15	0,22
Месячная сумма осадков в год, предшествовавший году формирования годичного кольца	0,02	0,05	-0,18	-0,13	-0,19	-0,08	0,16	0,1	-0,28	0,1	-0,14	0,21

рами апреля и октября. При этом корреляция с температурами октября календарного года формирования годичного кольца биологически необъяснима, ведь формирование годичного кольца в этот период уже полностью завершилось. Если принять уровень доверительной вероятности 0,99, то в таблице остаются только два достоверных и физиологически объяснимых значения коэффициента: корреляция с температурами октября прошлого года ($r = 0,52$) и корреляция с температурами апреля в календарный год формирования годичного кольца ($r = 0,48$). Повышенные температуры в этот период положительно сказываются на величине радиального прироста.

Наши выводы совпадают с данными, полученными Н.В. Ловелиусом и соавторами [9]. Исследование измерения прироста ели европейской в подзоне тайги проводилось с использованием индексов аномальности прироста. Индекс аномальности прироста представляет отношение величины метеопараметра (температура, осадки) в год с большим приростом (положительное отклонение от нормы более 10 %) к величине в год малого прироста (аналогичное отрицательное отклонение). Индексы аномальности у ели в подзоне южной тайги имеют два наиболее выраженных экстремума – апрель, ноябрь. В результате дается заключение о том, что наиболее существенным образом на прирост ели в районе исследования влияет температура воздуха накануне периода покоя и перед началом вегетации.

Известно, что конец вегетационного сезона у древесных растений умеренной зоны сопровождается прохождением ими процедуры закаливания, переводящей растение в состояние зимнего покоя [10]. Регуляция этих процессов со стороны внешней среды осуществляется на основе фотопериодических и термопериодических механизмов. Наши данные, как и данные Н.В. Ловелиуса, говорят о том, что условия входа растения в состояние зимнего покоя и выхода из него могут быть наиболее критичными для состояния деревьев ели и такого его индикатора как величина радиального прироста.

С помощью линейного регрессионного анализа был смоделирована динамика индексов радиального прироста, было получено уравнение вида

$$Y = 0,6592 + 0,0431 \cdot T_{10-1} + 0,0369 \cdot T_4$$

где T_{10-1} – температура октября прошлого календарного года, °С

T_4 – температура апреля текущего календарного года, °С

Результаты моделирования отражает рис. 4

Несмотря на то, что модель имеет относительно невысокие значения коэффициента детерминации (0,42), ряды на рис. 4 визуальнo демонстрируют хороший уровень сопряженности колебаний прироста. Вычитанием из реальных значений индексов радиального прироста его расчетных значений был получен временной ряд отклонений, отраженный на графике рис. 5.

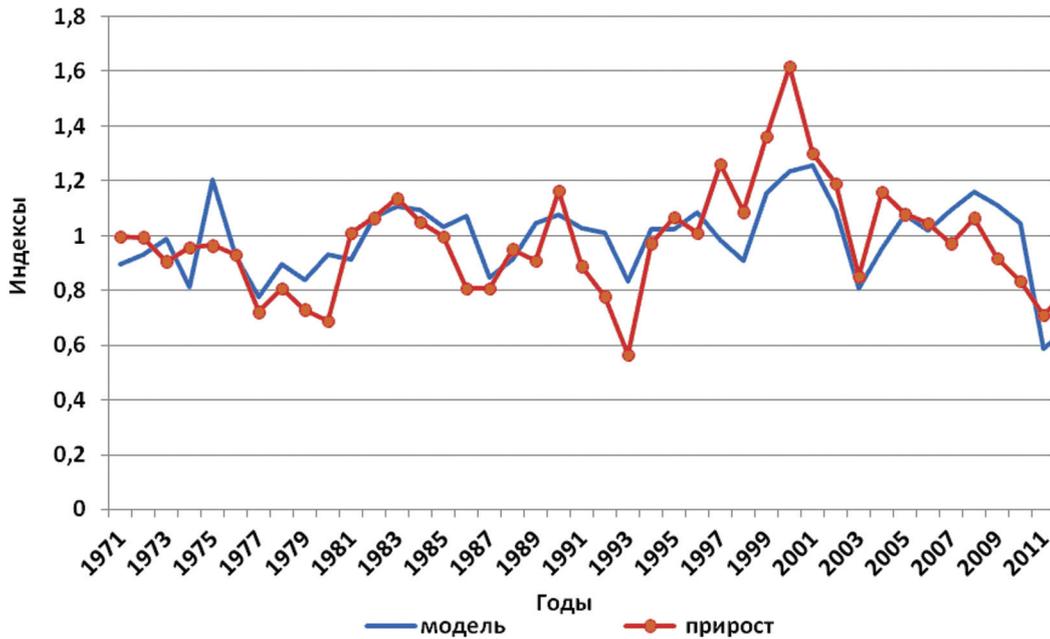


Рис. 4. Динамика реальных значений индексов радиального прироста и модельных расчетных значений индексов прироста

Fig. 4. Dynamics of actual means of radial growth indexes and of model means of growth indexes

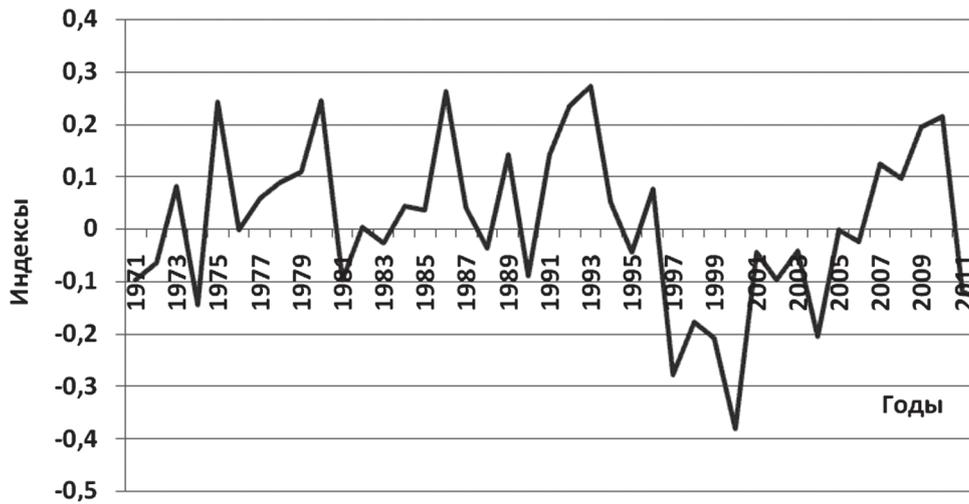


Рис. 5. Динамика отклонений реальных значений индексов прироста от расчетных по годам

Fig. 5. Dynamics of deflections of actual means of growth indexes from the calculated growth indexes by the years

Путем преобразования значений отклонений на рис. 5 в модульные значения был получен ряд, отраженный на рис. 6. Его значения получены путем извлечения квадратного корня из квадрата значений ряда на рис. 5.

При анализе динамики графика на рис. 6 обращает на себя внимание наличие лет полного соответствия между реальными значениями прироста и данными модели, когда расхождения между ними близки к нулю – 1976, 1982 и 2005. Необходимым условием такого соответствия является максимально

обильное атмосферное увлажнение в июне (рис. 7), в 1976, 1982 и 2005 наблюдались максимальные значения суммы осадков за июнь. Однако это условие является необходимым, но недостаточным: нулевые отклонения наблюдаются не во все годы с максимальной суммой осадков за июнь, что объяснимо и может быть связано с формированием засушливых условий на других этапах роста. В любом случае очевидно, что компонента прироста, динамика которой отражена на рис. 5–6, представляет собой засухозависимый показатель.

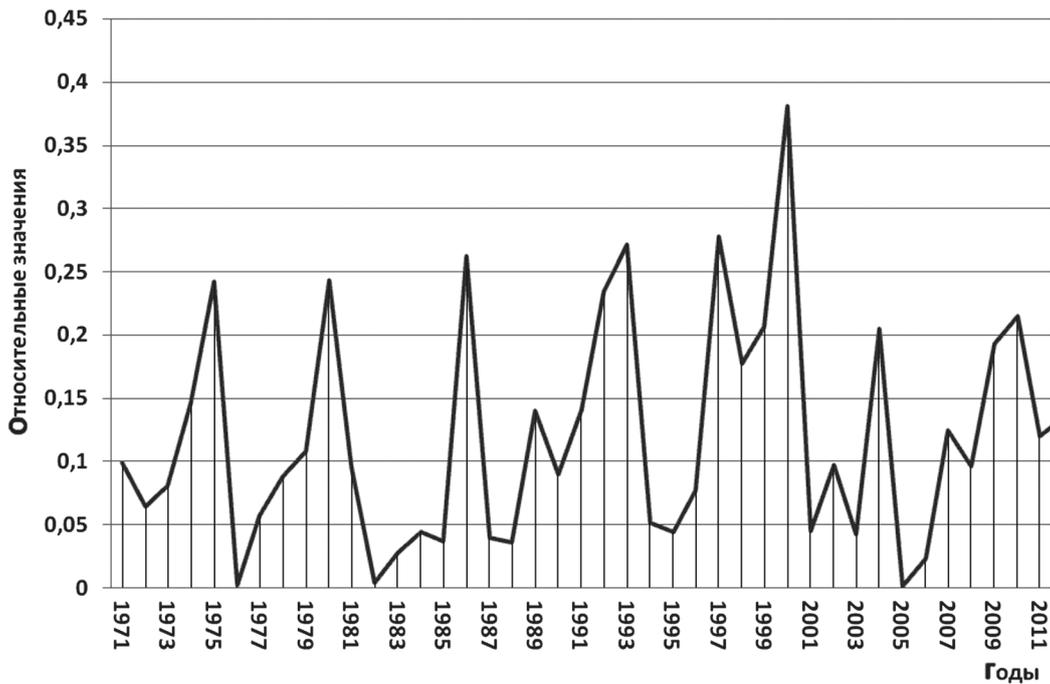


Рис. 6. Динамика модульных значений отклонения реальных индексов прироста от прогнозируемых линейной регрессионной моделью

Fig. 6. Dynamics of deflection module means of actual growth indexes from the means predictable by the linear regression model

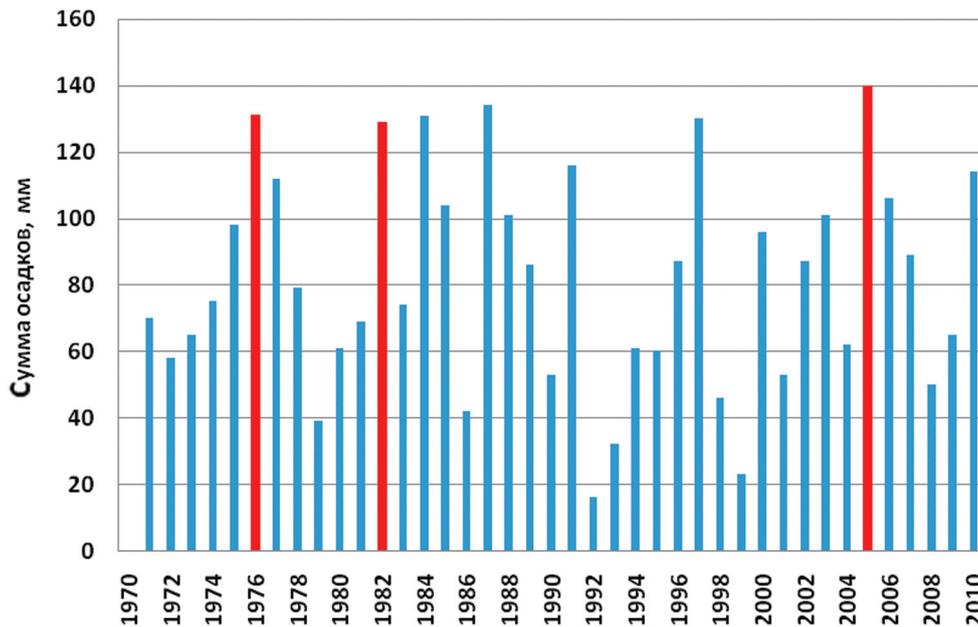


Рис. 7. Динамика месячной суммы осадков за июнь по годам

Fig. 7. Dynamics of month precipitation sum in June by the years

Вторым подтверждением этому служит ряд максимумов отклонений: 1975–1980–1986–1992+1993–1997– 2000–2004–2009+2010. Средний временной интервал между максимумами отклонений составляет 5 лет. В этот ряд попали две известные засухи 1992 и 2010 г., но не попала засуха 1972 г. Методом визуального анализа вре-

менных рядов увлажнения мы попытались подобрать показатель, обладающий аналогичным распределением лет локальных экстремумов прироста во времени. Одним из относительно совпадающих показателей является объединенная сумма осадков за июнь в год формирования годичного кольца и в прошлом году.

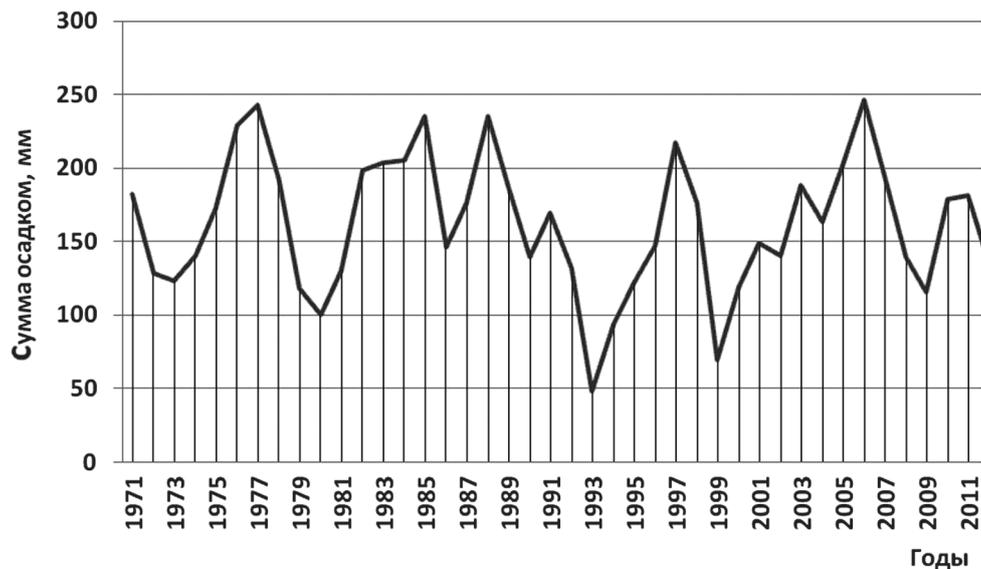


Рис. 8. Динамика суммы сумм осадков июня текущего и прошлого года
 Fig. 8. Dynamics of month precipitation sum in June of the calendar and previous year

График рисунка демонстрирует наличие локальных минимумов прироста в 1980, 1986, 1992+1993 гг., а также в 2009. Участок с 1993 по 2009 он описывает ненадежно. Если вернуться к графику на рис. 5, то видно, что в это время реальный прирост имел противоположные по знаку отклонения от расчетных значений линейной регрессионной модели и наблюдался на фоне наиболее благоприятных для роста ели условий начала и конца вегетации. Это в некоторой степени компенсировало отрицательное влияние засух на прирост и модифицировало характер засухозависимой компоненты климатического сигнала в хронологии.

Подводя итог исследованию, можно сделать следующие выводы:

1. Изменчивость радиального прироста ели на исследуемой пробной площади в пределах кисличного типа леса Центрально-лесного заповедника содержит выраженный климатический сигнал, связанный с колебанием уровня температур в начале и в конце вегетационного периода. Линейная регрессионная модель объясняет 42 % изменчивости индексов радиального прироста и демонстрирует хорошее визуальное совпадение динамики прироста по годам.

2. Остаточная компонента, полученная вычитанием из модельных значений индексов прироста его реальных значений, содержит засухозависимый климатический сигнал с

периодичностью около 5 лет. Распределение лет локальных экстремумов прироста в этой компоненте демонстрирует отчетливую связь с распределением экстремумов в ряду суммы осадков июня по годам, а также экстремумов в ряду объединенной суммы осадков июня текущего и прошлого года.

3. Полученные результаты имеют прогностическую ценность – на основании данных о температурах октября и температурах апреля можно предсказывать успешность роста ели в текущем календарном году еще в самом начале вегетационного сезона. С учетом периодичности колебания индекса водного дефицита можно предсказывать развитие засух и, в частности, прогнозировать формирование физиологически значимых засушливых условий в 2015–2016 гг.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант 14-17-00645) в Институте географии РАН, Московском Государственном Университете леса и в Институте глобального климата Росгидромета и РАН.

Библиографический список

1. Буюк, А.В. Сравнительный анализ динамики радиального прироста ели. / А.В. Буюк, В.Г. Карпов // Факторы регуляции экосистем еловых лесов. – Л.: Наука, 1983. – С. 65–78.
2. Пугачевский, А.В. Ценопопуляции ели: структура, динамика, факторы регуляции. / А.В. Пугачевский. – Минск: Наука и техника, 1992. – 204 с.

3. Пукинская, М.Ю. К методике изучения естественных нарушений в еловых лесах по дендрохронограммам. / М.Ю. Пукинская // Ботанический журнал, 2014 (№ 6). – С. 690–701.
4. Кухта, А.Е. Линейный и радиальный прирост сосны обыкновенной в Волжско-Камском и Центрально-лесном государственных природных заповедниках. / А.Е. Кухта, Д.Е. Румянцев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2010. № 3. – С. 88–93.
5. Румянцев, Д.Е. Влияние экологических факторов на формирование технических свойств древесины ели в условиях Тверской области. / Д.Е. Румянцев, П.Г. Мельник // Известия высших учебных заведений – Лесной журнал. – 2009. – № 2. – С. 8–34.
6. Александрова, М.С. Дендрохронологическая информация в лесоводственных исследованиях. / М.С. Александрова, В.В. Коровин, С.А. Коротков и др. – М.: МГУЛ, 2007. – 138 с.
7. Румянцев, Д.Е. История и методология лесоводственной дендрохронологии. / Д.Е. Румянцев. – М.: МГУЛ, 2010. – 107 с.
8. Лакин, Г.Ф. Биометрия. / Г.Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.
9. Крамер, П.Д. Физиология древесных растений. / П.Д. Крамер, Т.Т. Козловский. – М.: Лесная промышленность, 1983. – 232 с.
10. Ловелиус, Н.В. Анализ естественной изменчивости радиального прироста ели европейской в подзоне южной тайги. / Н.В. Ловелиус, Н.И. Лайранд, А.А. Яценко-Хмельевский // Экология и защита леса: межвуз сб. научн. Тр. Л.: ЛТА, 1990. – С. 35–39.

CLIMATICAL SIGNAL OF DROUGHTS AT THE NORWAY SPRUCE CHRONOLOGY FROM OXALIS ACETOSELLA SITE IN CENTRAL FOREST RESERVE

Rumyantsev D.E., prof. MSFU ⁽¹⁾; Kuhta A.E., Institute of Global climate and Ecology of Russia Hydrometeorology and RAS ⁽²⁾; Puchinskaya D.V., Institute of Global climate and Ecology of Russia Hydrometeorology and RAS ⁽²⁾

dendro@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ Moscow State Forest University (MSFU) 1st. Institutskaya, 1, 141005, Mytishi, Moscow reg., Russia

⁽²⁾ Institute of Global climate and Ecology of Russia Hydrometeorology and RAS

Spruce radial growth variability in Central Forest Natural Biosphere State reserve was investigated by some scientists. But all these works did not use the correlation analysis of meteorological parameters and of radial growth dynamics. The investigation of correlation between the radial and linear growth fluctuations of Scots pine, and the climatical factors which cause them was made by A.E. Kuhta and D.E. Rumyantsev (Kuhta, Rumyantsev, 2010). The need for continuation of the investigation is conditioned by the fact that a considerable period of time passed after the moment and in particular the great drought took place in 2010 year. The goal of this investigation was to establish the impact of this drought on ring width and to compare this indicator with the parameters of drought in recent years. As a result, the conclusion about the presence of the strong climatical signal in spruce chronology at the investigated plot was made. Climatical signal is closely related to the fluctuation of temperatures at the beginning and at the end of vegetation period. And the residual component calculated by means of subtraction of actual radial index growth from the model means of radial index growth includes the drought-resistant signal with the period of nearly five years. The distribution of years of local growth extremums at this component demonstrates the clear relation with the distribution of extremums in June precipitation sum by the years, and also the extremums in June precipitation sums of the calendar year and of the previous calendar year. The obtained results can be used for prognosis: on the base of temperatures in October and April it is possible to predict the fruitfulness of spruce growth in the current year at the beginning of vegetation season. Taking into account periodical fluctuations of water deficit index it is possible to predict the development of droughts and in particular to predict the formation of significant drought conditions.

Keywords: spruce, climate signal, radial growth, drought, dendrochronology, dendroclimatology.

References

1. Buyak A.V., Karpov V.G. *Sravnitel'nyy analiz dinamiki radial'nogo prirosta eli* [Tree-ring analysis of spruce]. Faktory regulyatsii ekosistem elovykh lesov [The factors of spruce forest ecosystem stability]. Leningrad, Science, 1983. pp.65-67.
2. Pugachevskiy A.V. *Tsenopopulyatsii eli: struktura, dinamika, faktory regulyatsii* [Spruce cenopopulations: structure, dynamics, function]. Minsk, Science and Technology, 1992. 204p.
3. Pukinskaya M.Yu. *K metodike izucheniya estestvennykh narusheniy v elovykh lesakh po dendrokronogrammam* [For methodic of investigation of spruce forest disturbances by dendrochronology]. Botanical Journal, 2014, № 6. pp.690-701
4. Kukhta A.E., Rumyantsev D.E. *Lineynyy i radial'nyy prirost sosny obyknovennoy v Volzhsko-Kamskom i Tsentral'no-Lesnom gosudarstvennykh prirodnnykh zapovednikakh* [Linear and radial growth of Scots pine form Voljско-Kamsky and Central forest reserve]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2010, № 3. pp.88-93
5. Rumyantsev D.E., Mel'nik P.G. *Vliyanie ekologicheskikh faktorov na formirovanie tekhnicheskikh svoystv drevesiny eli v usloviyakh Tverskoy oblasti* [The role of ecological factors in processes of technical qualities of spruce timber in Tver region]. Forest Journal, 2009, № 2. pp.8-34.
6. Aleksandrova M.S., Korovin V.V., Korotkov S.A., Krylov A.M., Lipatkin V.A., Rumyantsev D.E., Nikolaev D.K., Mel'nik P.G., Stonozhenko L.V. *Dendrokronologicheskaya informatsiya v lesovodstvennykh issledovaniyakh* [Dendrochronological information in forest investigations]. MSFU, 2007. 138 p.
7. Rumyantsev D.E. *Istoriya i metodologiya lesovodstvennoy dendrokronologii* [History and methodology of forest dendrochronology]. MSFU, 2010. 107 p.
8. Lakin G.F. *Biometriya* [Biometry]. Moscow: High education school, 1990. 352 p.
9. Kramer P.D., Kozlovskiy T.T. *Fiziologiya drevesnykh rasteniy* [Forest trees physiology]. Moscow: Forest industry, 1983. 232 p.
10. Lovelius N.V., Layrand N.I., Yatsenko-Khmelevskiy A.A. *Analiz estestvennoy izmenchivosti radial'nogo prirosta eli evropeyskoy v podzone yuzhnoy taygi* [The investigation of natural variability of Norway spruce radial growth]. Ecology and forest protection. Leningrad: Forestry academy, 1990. pp. 35-39.

ФОРМА И ОБЪЕМ СТВОЛОВ КЕДРА СИБИРСКОГО

В.В. ЗАВАРЗИН, *проф. каф. лесоустройства и охраны леса МГУЛ, канд. с.-х. наук*⁽¹⁾,
 А.В. ЛЕБЕДЕВ, *магистрант РГАУ-МСХА им. К.А.Тимирязева*⁽²⁾

zavarzin@mgul.ac.ru, avl1993@mail.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет леса»
 141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1

⁽²⁾ ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева»,
 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49

Приводятся методологические приемы моделирования объемов стволов древесных пород. На примере массовых материалов таксации стволов сосны кедровой сибирской, произрастающей в условиях Западной и Восточной Сибири, приводятся регрессионные уравнения зависимости коэффициента формы и видового числа стволов от высоты и диаметра. Выявленные закономерности позволили разработать объемные таблицы для стволов кедра сибирского. Данные, характеризующие объемы древесных стволов кедра сибирского, для удобства использования на практике, могут быть представлены по отдельным разрядам высот в зависимости от соотношения высот и диаметров. Сравнение значений объемов стволов кедра сибирского, полученных по нашей модели, с данными, которые содержатся в таблицах других авторов, подтвердили относительное сходство данных. Случайный характер отклонений, выявленный при сопоставлении полученных нами объемов стволов кедра с данными других авторов, подтверждает вероятность статистической принадлежности исходного материала сравниваемых таблиц к одной генеральной совокупности.

Ключевые слова: кедр сибирский, коэффициенты формы, видовые числа, объемы древесных стволов, объемные таблицы.

Объем и форма стволов определяют выход общего запаса и отдельных сортиментов в древостое [1, 2]. Объем зависит от формы древесного ствола, которая связана со многими факторами условий местопроизрастания. Различия по форме стволов могут существенно влиять на запас и сортиментную структуру древостоев.

В зависимости от диаметра, высоты и формы стволов для отдельных древесных пород составляются массовые или объемные таблицы, которые характеризуют средние объемы древесных стволов. К настоящему времени составлено множество местных и общих массовых таблиц, которые в той или иной степени дают представление об объемах стволов различных древесных пород.

До конца XIX в. кедр сибирский ценился только как источник кедровых орехов, а ценнейшая кедровая древесина находила применение крайне редко. При отсутствии промышленных рубок в кедровых лесах вопросы учета объемов кедровых стволов, запасов кедровой древесины не являлись первостепенными, острой необходимости в объемных таблицах для кедра не было. Лишь только в связи со строительством Сибирской железной дороги значительно увеличился спрос на древесину,

что привело к тому, что в рубку стали вовлекаться большие площади кедровников.

Из-за отсутствия отдельных объемных таблиц для кедра при необходимости для таксации кедровых стволов применялись имеющиеся таблицы по сосне или ели. Применение таблиц, составленных для других хвойных пород, при оценке объемов стволов кедра сибирского приводило к ошибкам, которые в отдельных случаях достигали 30–50 %.

В 30-е годы прошлого столетия большое внимание стало уделяться ведению хозяйства в кедровых лесах. В связи с этим значительно возросли требования к учету запасов кедровой древесины, объемов кедровых стволов и выходу сортиментов из них. Назрела необходимость в составлении отдельных объемных таблиц для стволов кедра сибирского.

Одними из первых объемных таблиц для кедра были таблицы, составленные для кедровников Восточных Саян. В 1931 г. Ангарская лесная экспедиция Совета по изучению производительных сил Академии наук собрала данные и составила таблицы объемов стволов для древостоев кедра этого района. В 1939 г. эти таблицы были переработаны П.В. Горским [8, 9].

В 1938 г. Б.Я. Дуденковым в Тресте лесной авиации были составлены таблицы объ-

емов стволов для древостоев кедр Новосибирской области (район реки Чулым) [9, 10].

В том же 1938 г. в Гипролестрансе В.Е. Шульцем были составлены таблицы объемов кедровых стволов для древостоев восточной части района реки Чулым Новосибирской области. По данным этих таблиц были составлены массовые таблицы объемов стволов по высоте и таксационному диаметру для кедр [9, 10].

В 1961 г. для древостоев кедр сибирского района Восточных Саян И.А. Нахабцев составил таблицы объемов по 5 разрядам высот [5].

В 1970 г. Е.П. Смолоногов, Б.И. Седых и И.В. Чашкин составили таблицы объема для кедр сибирского, произрастающего в условиях Западной Сибири (район Куль-Егана) [6,8]. Таблицы были составлены по 10 разрядам высот для трех типов изменения формы ствола.

В 1973 г. А.Д. Дударев, Н.Г. Косарев, М.С. Липчанский и В.Я. Сивков составили объемные таблицы для кедр Горного Алтая по результатам обмера 2372 стволов [4]. Таблицы были составлены по 7 разрядам высот. Значения средней высоты для деревьев отдельных ступеней толщины каждого разряда определялись графическим путем.

Наряду с названными авторами объемных таблиц значительный вклад в изучение формы и объема стволов кедр сибирского внесли Н.П. Анучин, М.В. Богдашин, В.Е. Ермаков, В.А. Кирсанов, А.Г. Костенко, В.П. Корш, Б.В. Любимов, И.В. Семечкин, Н.П. Телегин, В.Е. Попов, В.И. Поляков и ряд других исследователей.

Несмотря на относительно большое число проведенных исследований, особенности формирования объема и формы кедровых стволов являются недостаточно изученными, особенно в осваиваемых районах Сибири. Проведенные нами исследования позволяют в некоторой степени восполнить эти пробелы с учетом того, что в последние годы значительное внимание уделяется изучению структуры кедровников [7], формирования кедровых лесов с помощью рубок промежуточного пользования [3].

Материалы и методика исследований

Материалом для изучения особенностей формы и объема стволов кедр послужили данные обмеров 662 модельных деревьев. Исходный материал собран на основе пробных площадей, заложенных при лесоустройстве Иркутской (Жигаловский, Черемховский лесхозы) и Тюменской (Нижевартовский, Сургутский, Ярковский лесхозы) областей. Данные о модельных деревьях, в зависимости от высоты и диаметра, приведены в табл. 1.

Построение модели определения объема стволов было сведено к решению следующих задач:

1) нахождение параметров регрессионной модели зависимости коэффициента формы q_2 от высоты (h) и таксационного диаметра (d) ствола

$$q_2 = a_0 + \frac{a_1}{h} + \frac{a_2}{h \cdot d} + \frac{a_3}{h \cdot d^2}; \quad (1)$$

2) нахождение параметров регрессионной модели зависимости видового числа (f) от значений высоты, таксационного диаметра ствола и коэффициента формы q_2

$$f = b_0 + \frac{b_1}{h^2 \cdot q_2} + b_2 \cdot \ln q_2; \quad (2)$$

3) расчет объема ствола (v) по формуле

$$v = \pi \left(\frac{d}{200} \right)^2 \cdot h \cdot f; \quad (3)$$

4) составление объемных таблиц.

К преимуществам применяемой методики моделирования объемов стволов следует отнести возможность последовательного выявления закономерностей изменения коэффициента формы от высоты и таксационного диаметра ствола, а далее – видового числа от коэффициента формы и размера ствола. Учитывая это, получаемые на выходе объемные таблицы, которые могут быть составлены как при средних значениях коэффициента формы и видового числа, так и при условии закономерного изменения их значений от размеров древесного ствола.

Результаты исследований

Коэффициенты формы – показатели формы ствола, которые характеризуют изменение диаметра ствола от комля к вершине.

Распределение числа модельных деревьев кедра сибирского по диаметру и высоте
Distribution of sample trees of Siberian cedar in diameter and height

Ступень толщины, см	Высота ствола, м														Итого
	0,1– 2,0	2,1– 4,0	4,1– 6,0	6,1– 8,0	8,1– 10,0	10,1– 12,0	12,1– 14,0	14,1– 16,0	16,1– 18,0	18,1– 20,0	20,1– 22,0	22,1– 24,0	24,1– 26,0	26,1– 28,0	
4	8	30	30	9	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	77
8	–	–	6	37	24	4	1	–	–	–	–	–	–	–	72
12	–	–	–	3	21	28	21	4	–	–	–	–	–	–	77
16	–	–	–	–	3	12	25	25	5	2	–	–	–	–	72
20	–	–	–	–	–	8	11	27	16	14	7	1	–	–	84
24	–	–	–	–	–	–	8	24	14	12	5	7	2	–	72
28	–	–	–	–	–	–	3	8	11	17	14	9	1	–	63
32	–	–	–	–	–	–	1	5	7	11	12	16	3	–	55
36	–	–	–	–	–	–	–	1	4	6	10	11	7	–	39
40	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	6	14	2	4	27
44	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2	3	7	5	–	17
48	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	–	–	5	–	6
52	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0
56	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	–	–	1
Итого	8	30	36	49	48	52	70	94	57	66	57	66	25	4	662

Наибольший интерес в таксации представляет коэффициент формы q_2 . Так как таксационный диаметр ствола и высота являются основными объемобразующими показателями, то они выбраны в качестве независимых переменных при построении модели коэффициентов формы. С учетом коэффициентов регрессии, уравнение (1) принимает вид

$$q_2 = 0,66016 + \frac{0,45938}{h} + \frac{1,07402}{h \cdot d} + \frac{0,01065}{h \cdot d^2}; \quad (4)$$

$R^2 = 0,969; t = \{169,0; 16,1; 34,7; 3,4\} > t_{05} \approx 2,0;$
 $F = 7560,4$ при $P < 0,05$.

О высокой степени надежности полученной регрессионной модели свидетельствует высокое значение коэффициента детерминации (R^2), на значимость численных коэффициентов уравнения указывают расчетные значения t -критерия, расчетный F -критерий позволяет сделать заключение о статистической значимости регрессионного уравнения.

Отличительной особенностью видového числа от коэффициента формы является то, что оно характеризует полнодревесность ствола. В лесной таксации наибольший практический интерес представляет зависимость между коэффициентом формы и видовым числом, так как она позволяет находить значение видového числа менее трудоемким путем по сравнению

с определением отношения объема ствола к объему цилиндра. Для стволов кедра зависимость представлена уравнением

$$f = 0,62103 + \frac{0,91094}{h^2 \cdot q_2} + 0,41296 \cdot \ln q_2; \quad (5)$$

$R^2 = 0,825; t = \{123,3; 12,7; 35,0\} > t_{05} \approx 2,0;$
 $F = 1549,1$ при $P < 0,05$.

Комплекс независимых переменных объясняет 82,5 % дисперсии зависимой переменной, что указывает на достаточно высокую степень адекватности рассматриваемой модели. Численные коэффициенты уравнения регрессии статистически значимы ($t > t_{05} \approx 2,0$), на статистическую значимость уравнения указывает расчетное значение F -критерия.

Графическая интерпретация выявленной закономерности представлена на рисунке. Расположение и форма кривых на графике указывают на то, что при увеличении высоты стволов происходит закономерное уменьшение видовых чисел, а увеличение значений коэффициентов формы приводит к увеличению значения видовых чисел.

В табл. 2 показаны значения видовых чисел стволов кедра в зависимости от высоты и коэффициента формы. Анализируя представленные значения, можно сделать вывод, что для стволов деревьев, которые имеют

Видовые числа стволов кедра сибирского
Form factors of Siberian cedar trunks

Высота, м	Видовые числа при коэффициенте формы, q_2				
	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75
6	0,420	0,452	0,482	0,510	0,536
8	0,400	0,434	0,465	0,494	0,521
10	0,391	0,425	0,457	0,487	0,514
12	0,386	0,421	0,453	0,483	0,511
14	0,383	0,418	0,450	0,480	0,508
16	0,381	0,416	0,449	0,479	0,507
18	0,379	0,415	0,447	0,478	0,506
20	0,378	0,414	0,447	0,477	0,505
22	0,378	0,413	0,446	0,476	0,505
24	0,377	0,413	0,446	0,476	0,504
26	0,377	0,412	0,445	0,476	0,504
28	0,376	0,412	0,445	0,475	0,504
30	0,376	0,412	0,445	0,475	0,504

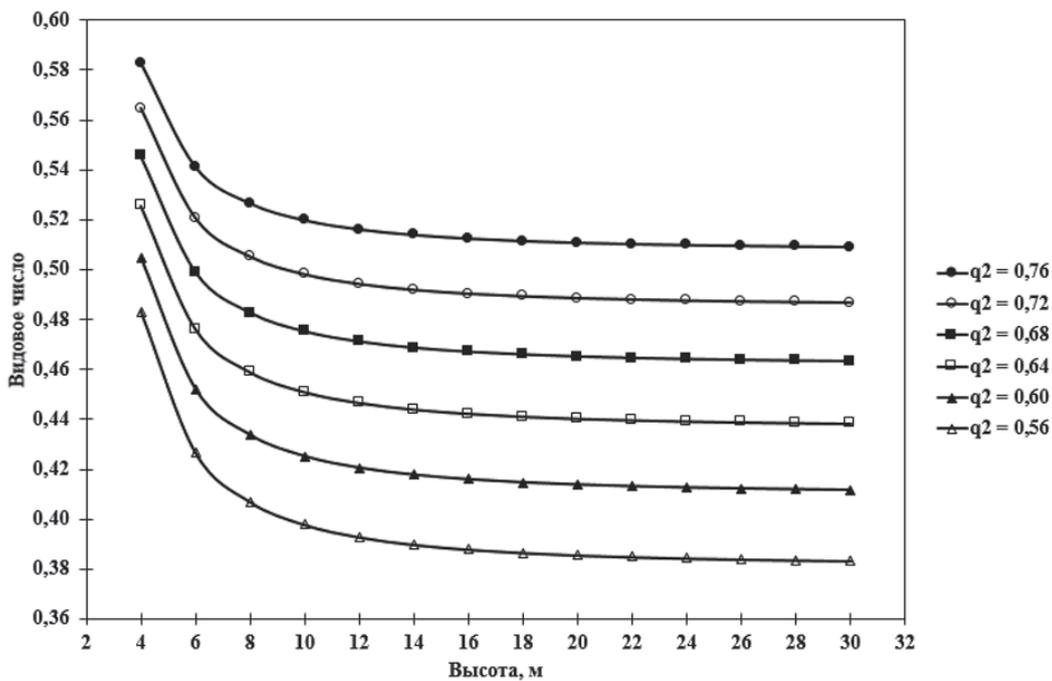


Рисунок. Зависимость видовых чисел от высоты ствола при фиксированных значениях коэффициента формы q_2

Fig. Dependence of form factors on the height of the trunk at fixed values of the shape factor q_2

равные коэффициенты формы, при увеличении высоты происходит уменьшение значений видовых чисел.

Большинство наиболее известных таблиц, которые позволяют определить объемы стволов кедра сибирского, составлены по рядам высот.

Разрядные таблицы, благодаря простоте их применения и точности, допусти-

мой для производства, находят самое широкое использование в лесотаксационной практике несмотря на то, что отсутствие единого подхода к установлению разрядов высот существенно влияет на качество разрабатываемых таблиц. До настоящего времени выявление распределения древостоев по рядам высот не имеет единой методики. В одних случаях разряды высот

Сравнение объемов стволов кедр, установленных разными исследователями
Comparison of cedar trunk volumes established by different researchers

Диаметр, см	Наша модель		М.В. Богдашин		Е.В. Шульц		Б.Я. Дуденков		П.В. Горский	
	h, м	v, м ³	h, м	v, м ³	h, м	v, м ³	h, м	v, м ³	h, м	v, м ³
12	12,4	0,068	12,0	0,072	11,5	0,069	13,5	0,060	12,0	0,075
16	14,3	0,137	14,0	0,149	13,0	0,140	15,0	0,140	14,0	0,150
20	15,9	0,237	16,0	0,259	16,5	0,260	17,0	0,230	15,5	0,249
24	17,3	0,371	17,0	0,400	18,0	0,402	18,5	0,385	16,5	0,382
28	18,7	0,541	19,0	0,581	19,0	0,573	19,5	0,560	19,5	0,595
32	19,9	0,751	20,0	0,803	20,0	0,778	20,0	0,764	20,0	0,790
36	21,1	1,004	21,0	1,053	20,5	1,010	22,5	1,020	20,5	1,010
40	22,2	1,301	22,0	1,330	21,0	1,260	23,0	1,300	21,0	1,270
44	23,3	1,645	23,0	1,627	22,0	1,590	23,5	1,600	23,5	1,710

Т а б л и ц а 4

Отклонения объемов стволов кедр, полученных по модели, от значений объемов
стволов, полученных разными авторами
Deflections of cedar trunk volumes, obtained by the model, from the values of trunk volumes,
obtained by different authors

Диаметр, см	Различия объемов, %, с данными			
	М.В. Богдашина	Е.В. Шульца	Б.Я. Дуденкова	П.В. Горского
12	-5,4	-1,3	13,5	-9,2
16	-7,9	-1,9	-1,9	-8,5
20	-8,5	-8,9	3,0	-4,8
24	-7,4	-7,8	-3,8	-3,0
28	-6,9	-5,6	-3,4	-9,1
32	-6,5	-3,5	-1,7	-4,9
36	-4,7	-0,6	-1,6	-0,6
40	-2,2	3,2	0,1	2,4
44	1,1	3,5	2,8	-3,8

устанавливаются на основании закономерностей строения нормальных насаждений, в других – шкалу разрядов высот устанавливают графическим путем, в-третьих, кривые соотношения высот и диаметров определяются по уравнениям связи.

По указанным причинам сопоставление данных, приводимых в различных таблицах объемов стволов кедр сибирского, в большинстве случаев связано со значительными трудностями. Прежде всего, из-за разного числа устанавливаемых разрядов, а также из-за разного соотношения между высотами и диаметрами в пределах самих разрядов.

Сравнение значений объемов стволов кедр сибирского, полученных по нашей модели, с данными, которые содержатся

в таблицах других авторов, представляет существенный интерес. Сравнение проведено без учета разряда таблиц – по общности размеров диаметров и близком значении высот. Данные сравнения приведены в табл. 3.

Анализируя данные табл. 2, которые характеризуют объемы стволов кедровников различных районов произрастания, нельзя не отметить, что при равных диаметрах и близких высотах стволы кедр сибирского большинства размеров, независимо от места и условий произрастания, не имеют существенного различия по объему. Отклонения объемов стволов кедр, полученных по нашей модели, от значений объемов стволов, полученных другими исследователями, приведены в табл. 4.

Объемы стволов кедра (в коре) в зависимости от высоты и диаметра на высоте 1,3 м
Cedar trunk volumes (in the bark) depending on the height and diameter at a height of 1,3 m

Диаметр, см	Высота, м																																				
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30														
	Объем ствола, м ³																																				
4	0,0053	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
6	0,0117	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
8	0,0207	0,0228	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
10	0,0322	0,0356	0,0390	0,0425	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
12	0,0462	0,0511	0,0561	0,0611	0,0660	0,0711	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
14	0,0628	0,0695	0,0762	0,0830	0,0898	0,0966	0,1034	0,1103	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16	0,0819	0,0906	0,0994	0,1083	0,1172	0,1261	0,1350	0,1439	0,1529	0,1618	0,1708	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18	-	0,1146	0,1257	0,1369	0,1482	0,1594	0,1707	0,1820	0,1933	0,2047	0,2160	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
20	-	-	0,1551	0,1690	0,1828	0,1967	0,2106	0,2246	0,2386	0,2526	0,2666	0,2806	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
22	-	-	-	0,1876	0,2043	0,2211	0,2379	0,2548	0,2717	0,2886	0,3055	0,3224	0,3394	0,3564	0,3734	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
24	-	-	-	-	0,2431	0,2630	0,2830	0,3031	0,3232	0,3433	0,3635	0,3836	0,4038	0,4240	0,4442	0,4644	0,4847	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26	-	-	-	-	-	0,3086	0,3321	0,3556	0,3792	0,4028	0,4265	0,4501	0,4738	0,4975	0,5212	0,5450	0,5687	0,5925	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-	0,3578	0,3850	0,4123	0,4397	0,4671	0,4945	0,5219	0,5494	0,5769	0,6044	0,6319	0,6595	0,6870	0,7146	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	0,4419	0,4732	0,5046	0,5361	0,5675	0,5990	0,6306	0,6621	0,6937	0,7253	0,7569	0,7886	0,8202	0,8518	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-	-	0,5383	0,5740	0,6098	0,6456	0,6815	0,7174	0,7533	0,7892	0,8251	0,8611	0,8971	0,9331	0,9691	1,0051	1,0411	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6076	0,6479	0,6883	0,7287	0,7692	0,8097	0,8503	0,8908	0,9314	0,9720	1,0126	1,0533	1,0939	1,1346	1,1752	1,2159	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Диаметр, см	Высота, м																													
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30							
	Объем ствола, м ³																													
36	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7263	0,7716	0,8169	0,8623	0,9077	0,9531	0,9986	1,0441	1,0896	1,1352	1,1807	1,2263	1,2719	1,3175	1,3631	1,4087						
38	-	-	-	-	-	-	-	0,8091	0,8596	0,9101	0,9606	1,0112	1,0619	1,1125	1,1632	1,2139	1,2647	1,3154	1,3662	1,4170	1,4678	1,5186	1,5695	1,6203						
40	-	-	-	-	-	-	-	-	0,9523	1,0083	1,0643	1,1204	1,1765	1,2326	1,2888	1,3450	1,4012	1,4574	1,5137	1,5700	1,6263	1,6826	1,7389	1,7952						
42	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0498	1,1115	1,1733	1,2351	1,2970	1,3588	1,4208	1,4827	1,5447	1,6067	1,6688	1,7308	1,7929	1,8549	1,9170	1,9790						
44	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1521	1,2198	1,2876	1,3554	1,4233	1,4912	1,5592	1,6272	1,6952	1,7633	1,8314	1,8995	1,9676	2,0357	2,1038	2,1719						
46	-	-	-	-	-	-	-	-	1,3331	1,4072	1,4813	1,5555	1,6298	1,7041	1,7784	1,8527	1,9271	1,9982	2,0693	2,1404	2,2115	2,2826	2,3537	2,4248						
48	-	-	-	-	-	-	-	-	1,4515	1,5321	1,6128	1,6936	1,7745	1,8554	1,9363	2,0172	2,0982	2,1792	2,2603	2,3413	2,4224	2,5035	2,5846	2,6657						
50	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6623	1,7499	1,8376	1,9253	2,0131	2,1009	2,1887	2,2766	2,3645	2,4525	2,5404	2,6284	2,7164	2,8044	2,8924	2,9804						
52	-	-	-	-	-	-	-	-	1,7979	1,8926	1,9875	2,0823	2,1773	2,2722	2,3672	2,4623	2,5574	2,6525	2,7476	2,8428	2,9379	3,0330	3,1281	3,2232						
54	-	-	-	-	-	-	-	-	1,9387	2,0409	2,1432	2,2455	2,3479	2,4503	2,5527	2,6552	2,7578	2,8603	2,9629	3,0655	3,1682	3,2708	3,3734	3,4760						
56	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0849	2,1948	2,3048	2,4148	2,5249	2,6350	2,7452	2,8555	2,9657	3,0760	3,1864	3,2967	3,4071	3,5175	3,6279	3,7383						
58	-	-	-	-	-	-	-	-	2,2364	2,3543	2,4722	2,5902	2,7083	2,8265	2,9447	3,0629	3,1812	3,2996	3,4179	3,5363	3,6547	3,7731	3,8915	4,0099						
60	-	-	-	-	-	-	-	-	2,3932	2,5193	2,6455	2,7719	2,8982	3,0247	3,1512	3,2777	3,4043	3,5309	3,6576	3,7843	3,9110	4,0377	4,1644	4,2911						
62	-	-	-	-	-	-	-	-	2,5553	2,6900	2,8248	2,9596	3,0946	3,2296	3,3647	3,4998	3,6349	3,7701	3,9054	4,0407	4,1760	4,3113	4,4466	4,5819						
64	-	-	-	-	-	-	-	-	2,7227	2,8662	3,0098	3,1535	3,2973	3,4412	3,5851	3,7291	3,8731	4,0172	4,1613	4,3054	4,4496	4,5937	4,7379	4,8820						
66	-	-	-	-	-	-	-	-	3,0480	3,2008	3,3536	3,5065	3,6595	3,8126	3,9657	4,1189	4,2721	4,4253	4,5786	4,7318	4,8850	5,0382	5,1914	5,3446						
68	-	-	-	-	-	-	-	-	3,2355	3,3976	3,5598	3,7222	3,8846	4,0471	4,2096	4,3722	4,5348	4,6975	4,8602	5,0230	5,1857	5,3484	5,5111	5,6738						

Диаметр, см	Высота, м																													
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30							
	Объем ствола, м ³																													
70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,4285	3,6003	3,7722	3,9442	4,1163	4,2885	4,4608	4,6330	4,8054	4,9778	5,1502	5,3227						
72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,6271	3,8089	3,9908	4,1727	4,3548	4,5370	4,7192	4,9015	5,0838	5,2662	5,4486	5,6311						
74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,8313	4,0233	4,2154	4,4077	4,6000	4,7924	4,9849	5,1775	5,3701	5,5627	5,7554	5,9482						
76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0411	4,2436	4,4463	4,6490	4,8519	5,0549	5,2579	5,4610	5,6641	5,8674	6,0706	6,2739						
78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,2565	4,4698	4,6833	4,8968	5,1105	5,3243	5,5382	5,7521	5,9661	6,1801	6,3942	6,6084						
80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,4774	4,7019	4,9264	5,1511	5,3759	5,6007	5,8257	6,0507	6,2758	6,5010	6,7262	6,9515						

Наименьшее расхождение объемов стволов, определенных по нашей модели, получено с таблицами Е.В. Шульца и Б.Я. Дуденкова. Проведенное сравнение объемов кедровых стволов свидетельствует о близости стволов кедра сибирского наиболее распространенных размеров по форме. Случайный характер отклонений, выявленный при сопоставлении полученных нами объемов стволов кедра с данными других авторов, подтверждает вероятность статистической принадлежности исходного материала, послужившего для составления всех сравниваемых таблицы к одной генеральной совокупности. Итогом проведения нашего исследования явилось составление таблиц объемов стволов сосны кедровой сибирской, входом в которые являются таксационный диаметр и высота ствола. В значения объемов заложено закономерное изменение величины коэффициента формы q_2 и видового числа как важнейших объемообразующих показателей древесных стволов.

Приведенные данные, характеризующие объемы стволов кедра сибирского, для удобства использования на практике могут быть представлены по отдельным разрядам высот, в зависимости от соотношения высот и диаметров.

Библиографический список

1. Анучин, Н.П. Сортиментные и товарные таблицы для лиственницы, кедра и пихты / Н.П. Анучин. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1949. – 84 с.
2. Анучин, Н.П. Лесная таксация. 5-е изд. / Н.П. Анучин. – М.: Лесная пром-сть, 1982. – 552 с.
3. Данченко, А.М. Кедровые леса Западной Сибири / А.М. Данченко, И.А. Бех. – Томск: Томский государственный университет, 2010 – 424 с.
4. Дударев, А.Д. Объемные и сортиментные таблицы для сосны, пихты и кедра Алтайского края и Кемеровской области / А.Д. Дударев, Н.Г. Косарев, М.С. Липчанский, В.Я. Сивков. – Воронеж, изд-во ВГУ, 1973. – 92 с.
5. Нахабцев, И.А. Опыт составления таблиц объемов, сортиментно-сортных и товарных для древостоев кедра сибирского района Восточных Саян / И.А. Нахабцев // Сборник статей по обмену производственно-техническим опытом по лесному хозяйству и лесоустройству. – Л., 1961. – С. 109–123.
6. Семечкин, И.В. Распределение насаждений кедра сибирского по классам бонитета условий местопрорастания: справочное пособие по таксации лесов Сибири / И.В. Семечкин, В.Ф. Лебков. – Красноярск, 1973. – С.49–50.
7. Семечкин, И.В. Структура и динамика кедровников Сибири / И.В. Семечкин. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2002. – 253 с.
8. Справочные таблицы для таксации лесов северной и средней тайги Западной Сибири. – Свердловск, 1970. – 99 с.
9. Третьяков, Н.В. Справочник таксатора / Н.В. Третьяков, П.В. Горский, В.Е. Шульц. – Л.: Гослестехиздат, 1940. – 393 с.
10. Третьяков, Н.В. Справочник таксатора / Н.В. Третьяков, П.В. Горский, Г.Г. Самойлович. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1952. – 854 с.

SHAPE AND VOLUME OF PINUS SIBIRICA TRUNKS

Zavarzin V.V., (MSFU)⁽¹⁾; Lebedev A.V., (RSAU-MTAA)⁽²⁾

zavarzin@mgul.ac.ru, avl1993@mail.ru

⁽¹⁾ Moscow State Forest University (MSFU) 1st. Institutskaya, 1, 141005, Mytischki, Moscow reg., Russia;

⁽²⁾ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (MTAA) Timiryazevskaya Street, 49, 127550, Moscow, Russia.

The article presents the methodological techniques of modeling trunk volumes of trees. At the example of mass materials of trunk taxation of stone pine, which grows in Western and Eastern Siberia, the regression equations of the dependence of form coefficient and of form factors on the height and diameter of trunks are given. The revealed regularities allowed to develop a three-dimensional table for Siberian cedar trunks. The data characterizing the volume of trunks of Siberian cedar, for easier use in practice, can be represented by separate categories of heights, depending on the ratio of height and diameter. The comparison of the volumes of Siberian cedar trunks obtained by use of our model, with the data in the tables of other authors has confirmed the relative similarity of the data. Random deflections identified during the comparison of our volumes of cedar trunks with those of other authors, has confirmed the probability of statistical belonging of the raw material in the compared tables to the same general population.

Keywords: siberian cedar, form factors, the volume of tree trunks, the volume tables.

References

1. Anuchin N.P. *Sortimentnye i tovarnye tablitsy dlya listvennitsy, kedra i pikhty* [Assortment and product table for a larch, cedar and fir]. Moscow-Leningrad: Goslesbumizdat, 1949, 84 p.
2. Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya*. [Forest inventories]. Moscow: Forest Industry, 1982, 552 p.
3. Danchenko A.M. *Kedrovye lesa Zapadnoy Sibiri* [Cedar forests of Western Siberia]. Tomsk: Tomsk State University, 2010. 424 p.
4. Dudarev A.D. *Ob'emnye i sortimentnye tablitsy dlya sosny, pikhty i kedra Altayskogo kraya i Kemerovskoy oblasti* [The volume and assortment tables for pine, fir and cedar Altai Territory and Kemerovo Region]. Voronezh: Voronezh State University Publishing House, 1973, 92 p.
5. Nakhabtsev I.A. *Opyt sostavleniya tablits ob'emov, sortimento-sortnykh i tovarnykh dlya drevostoev kedra sibirskogo rayona Vostochnykh Sayan* [Experience tabulation volume, assortment and product of graded-for stands of Siberian cedar area of the Eastern Sayan] Collection of articles on the production and exchange of technical expertise in forestry and forest management. Leningrad, 1961, pp. 109-123.
6. Semechkin I.V. *Raspredelenie nasazhdeniy kedra sibirskogo po klassam boniteta usloviy mestoproizrastaniya: spravochnoe posobie po taksatsii lesov Sibiri* [Distribution of Siberian cedar forests of site class, site conditions: a manual on forest inventory Siberia]. Krasnoyarsk, 1973. pp. 49-50.
7. Semechkin I.V. *Struktura i dinamika kedrovnikov Sibiri* [Structure and dynamics of Siberian cedar]. Novosibirsk: Publishing House of SB RAN, 2002, 253 p.
8. *Spravochnye tablitsy dlya taksatsii lesov severnoy i sredney taygi Zapadnoy Sibiri* [Reference tables for forest inventory the northern and middle taiga of Western Siberia]. Sverdlovsk, 1970, 99 p.
9. Tret'yakov N.V. *Spravochnik taksatora* [Directory taxotere]. Leningrad: Goslestehizdat, 1940, 393 p.
10. Tret'yakov N.V. *Spravochnik taksatora* [Directory taxotere]. Moscow-Leningrad: Goslesbumizdat, 1952, 854 p.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА ФОРМ СОСНЫ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) С РАЗНЫМ ТИПОМ АПОФИЗА СЕМЕННЫХ ЧЕШУЙ

Е.А. ПИНАЕВСКАЯ, асп., м.н.с. ИЭПС УрО РАН⁽¹⁾,

С.Н. ТАРХАНОВ, зав. лабораторией экологии популяций и сообществ ИЭПС УрО РАН,
д-р биол. наук⁽¹⁾

aviatorov8@mail.ru; tarkse@yandex.ru

⁽¹⁾ Институт экологических проблем Севера УрО РАН
163000, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 23

Изучена изменчивость радиального прироста форм сосны с разным типом апофиза семенных чешуй шишек в условиях постоянного избыточного увлажнения почв северной тайги. Для дендрохронологического анализа использовались керны древесины форм сосны с разным типом апофиза семенных чешуй шишек, отобранные в северотаежных кустарничково-сфагновых сосняках на болотных верховых торфяных почвах в устье Северной Двины. Доля деревьев с «выпуклым» типом апофиза в сосняках сфагновой группы типов леса в северной тайге бассейна Северной Двины может достигать 90 %, с «плоским» типом – 20 %. Установлено, что большей величиной радиального прироста характеризуется сосна с «выпуклым» типом апофиза по сравнению с формой с «плоским» типом. Хронологическая изменчивость радиального прироста деревьев разных форм сосны характеризуется очень высоким уровнем. Динамика средних значений радиального годового прироста для форм, выделенных по типу апофиза семенных чешуй шишек, аппроксимируется полиномиальной кривой шестого порядка с довольно высокой достоверностью. Выявлены экстремумы прироста для сосны с «выпуклым» типом апофиза и «плоским» типом. Морфологические формы характеризуются высокой амплитудой и довольно синхронным распределением индексов прироста. Выявлено несколько типов возрастных кривых годового прироста в динамике ширины годовичных слоев у рассматриваемых форм сосны. По чувствительности к общему воздействию факторов дерева дискретных форм сосны существенно не различаются. В исследованиях древесно-кольцевых хронологий прослеживается цикличность, близкая к 11-летнему солнечному циклу. Выявлены циклы с малой периодичностью и 22-летний магнитный цикл.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, форма, апофиз семенных чешуй шишек, радиальный прирост, избыточное увлажнение почв, северная тайга.

Закономерности изменчивости организмов интенсивно исследуются биологами разных специальностей, поскольку именно они определяют микроэволюционные преобразования популяций, эффективность селекции хозяйственно ценных видов, возможности адаптации в меняющихся условиях среды. Выявляя специфику морфологических и иных реакций на сходные условия у представителей разных внутривидовых форм, можно установить не только сам факт необратимой специфики данных форм, но и направление микроэволюционных преобразований. Последнее обстоятельство тесно связано с проблемой устойчивости надорганизменных систем (популяций, экосистем) к воздействию экстремальных факторов, что приобретает в настоящее время особую актуальность. В популяциях сосны (*Pinus sylvestris* L.) выделяются деревья с различными морфоструктурными показателями,

однако сведения об их сравнительных характеристиках в экстремальных условиях на Севере недостаточны [1]. Долговременный анализ морфоструктуры годовичных колец древесины в настоящее время широко используется в прикладных целях. Величина текущего прироста деревьев по диаметру ствола суммирует воздействие климатических, эдафических, ценологических и других факторов внешней среды [2, 3].

Наиболее надежными морфологическими маркерами наследственных форм у древесных являются признаки генеративных органов. Они характеризуются низкими уровнями экологической и географической изменчивости, стабильны во всех метамерах кроны деревьев и во времени. Считается, что в этом случае в процессе онтогенеза признак независим по отношению к формирующим его условиям, а развитие его определяется преимущественно генотипом особи. В чис-

ле прочих у сосны к ним можно отнести такие дискретные вариации морфологических признаков, как, например, окраску мужских и женских стробилов, тип развития апофиза семенных чешуй шишек и некоторые другие [1]. Согласно нашим данным [1], доля деревьев с «выпуклым» типом апофиза в сосняках сфагновой группы типов леса в северной тайге бассейна Северной Двины может достигать 90 %, с «плоским» типом – 20 %, а с «крючковатым» (*f. reflexa* Heer.) составляет менее 10 % или такой тип совсем отсутствует.

Цель данной работы – изучение изменчивости радиального прироста форм сосны обыкновенной, выделенных по типу апофиза семенных чешуй шишек, в условиях избыточного увлажнения почв северной тайги.

Объекты и методика

Исследования проведены в северотаежных кустарничково-сфагновых сосняках на болотных верховых торфяных почвах в устье Северной Двины (северная тайга) на двух постоянных пробных площадях, заложенных стандартными методами (ОСТ 56-69-83) [4]. Для изучения радиального прироста сосны был проведен отбор кернов древесины ствола в направлениях с севера на юг и с востока на запад приростным буравом (на высоте 1.3 м) у форм деревьев с разным типом апофиза семенных чешуй шишек. На каждой пробной площади объем выборки составлял 25 деревьев каждой формы (*f. gibba* Christ – «выпуклый»; *f. plana* Christ – «плоский») [5]. Исходными данными для дендрохронологического анализа радиального прироста различных форм сосны послужили средние значения прироста, рассчитанные по измерениям ширины годичных слоев в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Измерения ширины годичных слоев проводили методом световой микроскопии с помощью окуляр-микрометра с точностью $\pm 0,05$ мм. Колебания длины полученных рядов прироста не превышали одного класса возраста. Выявление закономерностей радиального прироста в

полученных временных рядах осуществляли дифференцированно для разных форм. Методом 5-летнего скользящего сглаживания определены относительные индексы прироста [6]

$$I = i_{\phi} / i_{\text{сгл}} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где I – относительный индекс, %;

i_{ϕ} – фактическая ширина годичного кольца;

$i_{\text{сгл}}$ – сглаженная ширина годичного кольца (или норма прироста данного года, рассчитанная любым конкретным способом).

Данный способ расчетов обеспечивает удаление возрастного тренда.

Определяли показатель чувствительности дерева (%) к условиям внешней среды по формуле [6]

$$K_s = \sum |\Delta i| / \sum i; \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где $\sum |\Delta i|$ – абсолютная разность ширины соседних годичных колец деревьев по модулю;

$\sum i$ – сумма годичных колец деревьев за весь исследуемый период.

Для количественной характеристики колебаний прироста применяли также коэффициент синхронности (K_c) [13]. Уровни изменчивости оценивали по шкале С.А. Мамаева [7]. При сравнении одноименных признаков использовали критерий t – Стьюдента. Для выявления цикличности радиального прироста разных форм сосны использовали календарные даты наступления экстремальных приростов и значений нормы годичного прироста, рассчитанных по 5-летним скользящим кривым.

Результаты и обсуждение

В ходе дендрохронологического анализа были получены значения ширины годичного слоя для каждой выделенной формы. Среднее значение годичного радиального прироста сосны для морфологической формы с «плоским» типом апофиза семенных чешуй ($0,61 \pm 0,05$ мм) ниже, чем у морфологической формы с «выпуклым» типом апофиза ($0,82 \pm 0,05$ мм). Эти различия достоверны (t -критерий, $p < 0,01$). Ранее было установлено [1], что

Экстремумы прироста (*i*, мм) форм сосны по типу апофиза семенных чешуй шишек
Extremes of growth (*i*, mm) of pine forms according to the type of apophysis of seed scales of cones

«Выпуклый» тип				«Плоский» тип			
min		max		min		max	
год	<i>I</i>	год	<i>i</i>	год	<i>i</i>	год	<i>i</i>
1963	0.40	1960	1.05	1966	0.20	1964	0.65
1968	0.45	1965	0.95	1968	0.13	1971	0.62
1971	0.45	1972	1.20	1972	0.55	1975	1.41
1973	0.90	1976	1.87	1977	0.91	1978	1.31
1978	1.35	1981	1.60	1980	0.76	1983	1.05
1980	1.03	1984	1.83	1985	0.74	1990	1.82
1983	1.28	1991	1.75	1993	1.02	1996	1.19
1988	1.16	1996	1.11	2002	0.53	2007	1.07

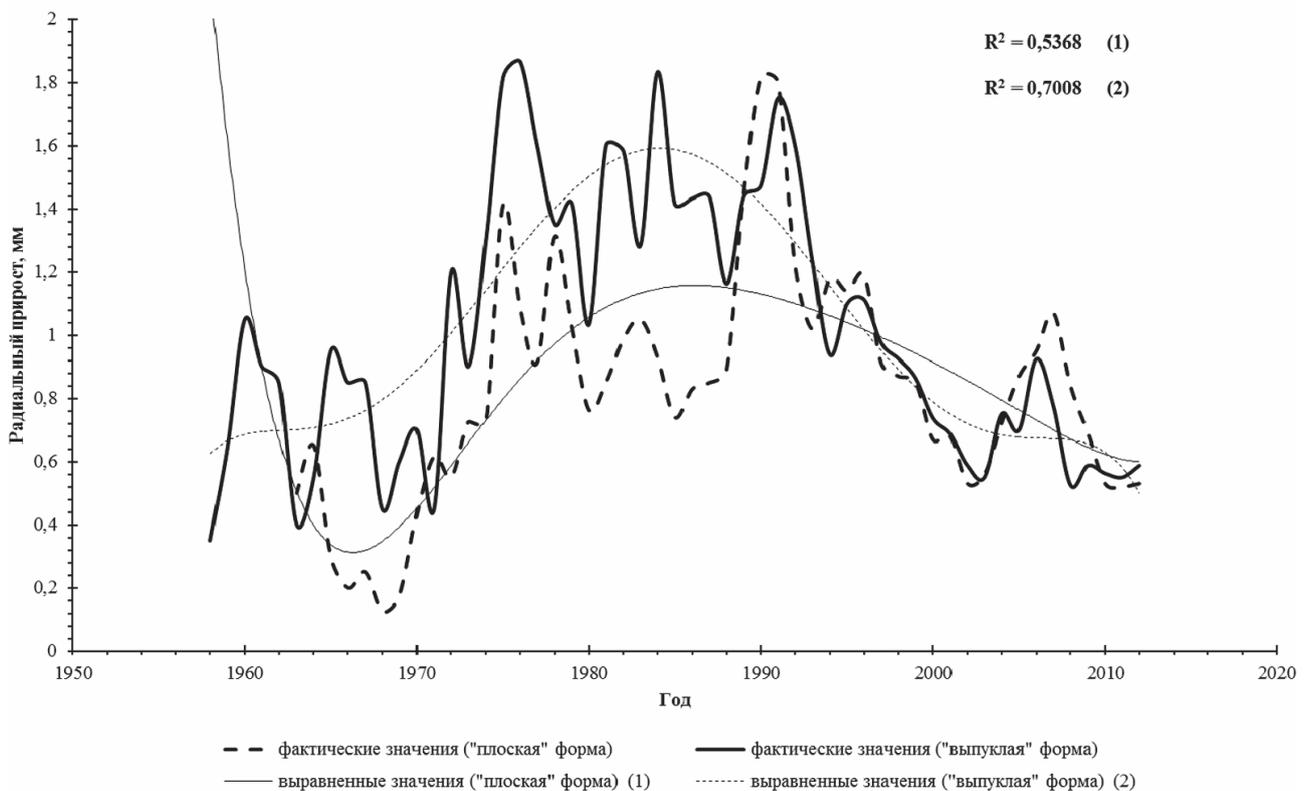


Рис. 1. Хронологическая динамика средних значений радиального прироста у форм сосны
 Fig. 1. The chronological dynamics of the average values of radial growth in pine forms

в сосняках сфагновых на болотных верховых почвах в устье Северной Двины форма сосны с «выпуклым» апофизом семенных чешуй в 60–70-летнем возрасте превосходит форму с «плоским» типом апофиза по высоте ствола и размерам кроны на 12–16 %, длине шишки – на 5 %, массе шишки – на 12 %.

Хронологическая изменчивость радиального прироста деревьев разных форм сосны характеризуется очень высоким уровнем (согласно эмпирической шкале С.А. Мамаева, 1972). Величина коэффициента изменчивости (в пределах дерева) для выборок с «плоским» и «выпуклым» типом апофиза имеет близкие значения

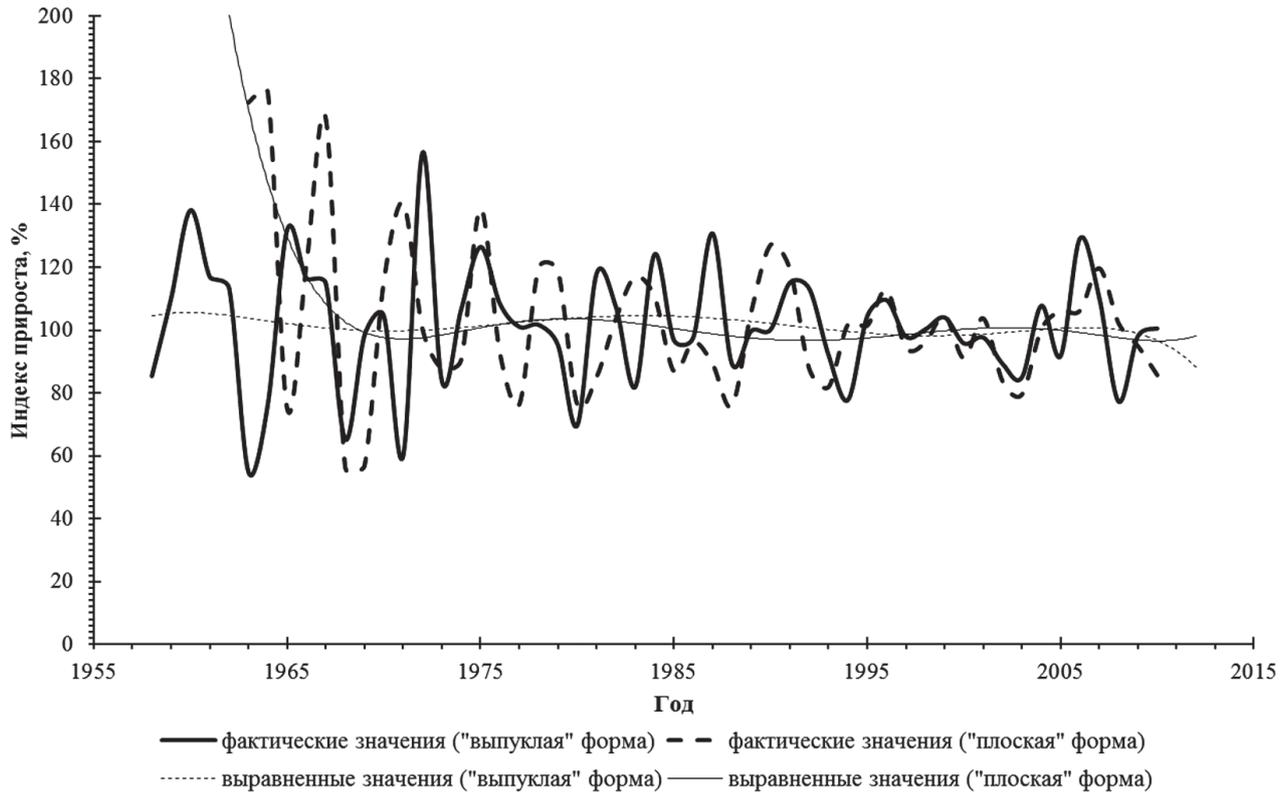


Рис. 2. Временная динамика средних значений индексов годичного прироста форм сосны
 Fig. 2. Temporal dynamics of the average values of the indexes of annual growth of pine forms

($C.V. = 47-53\%$). Минимальное и максимальное значения для формы с «выпуклым» типом апофиза составляют 45–49 %, а для формы с «плоским» типом – 46–4 %. Динамика средних значений радиального годичного прироста и индексов прироста для форм по типу апофиза аппроксимируется полиномиальной кривой шестого порядка с довольно высокой достоверностью (рис. 1).

Представленный график прироста позволяет получить общее представление об интервале изменчивости радиального прироста. Выявлено, что экстремальные (максимальное и минимальное) значения прироста для формы сосны с «выпуклым» типом апофиза приходятся на 1963, 1968, 1971, 2003, 2008 гг. по минимальным значениям, а на 1976, 1984, 1991 гг. – по максимальным значениям прироста. Для формы с «плоским» типом апофиза минимум прироста наблюдается в 1966, 1968, 2002 гг., а максимум – в 1975, 1978, 1990, 2007 гг. (таблица).

В результате сопоставления дендрохронологических рядов отдельных деревьев установлено, что сходство колебаний абсолютной величины годичного прироста для «плоской» формы составляет 32–63 %, а для «выпуклой» формы – 42–58 %. Сходство в динамике ширины годичных колец для деревьев одной породы возрастает при исключении фактора возраста, т. е. при использовании индексов [8]. Коэффициенты синхронности динамики индексов радиального прироста для «плоской» и «выпуклой» форм составляет 53–55 %. Таким образом, можно считать, что динамика средних значений индексов радиального прироста обеих выделенных форм сосны в целом отражает общую реакцию деревьев на условия макросреды.

Показатели чувствительности деревьев к воздействию факторов внешней среды сосны у обеих форм близки (24–27 %). Изменчивость прироста незначительна, что указывает на сходство в реакции этих форм на условия внешней среды.

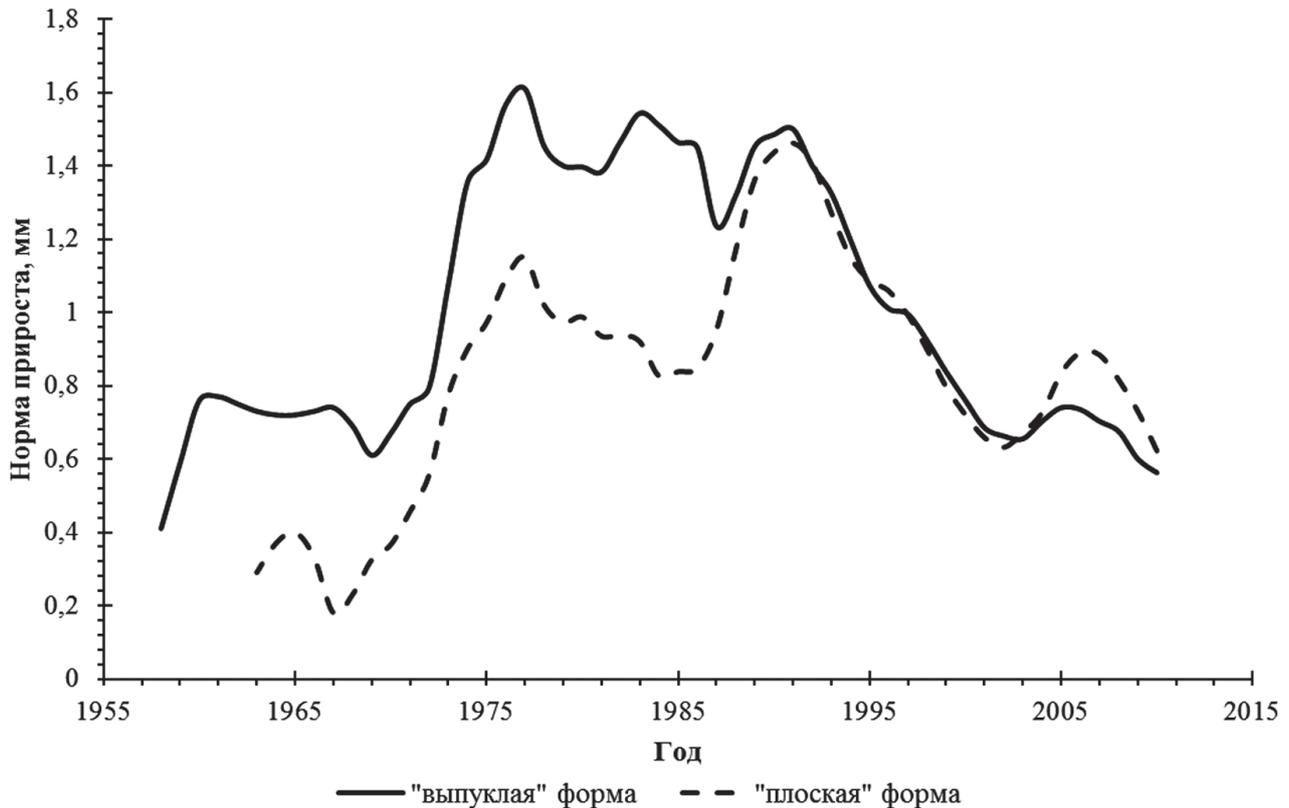


Рис. 3. Цикличность в динамике ширины годичного слоя разных форм сосны
 Fig. 3. Cyclical dynamics in the width of the annual rings of different forms of pine

При анализе динамики ширины годичных колец сосны выявлено несколько типов возрастных кривых годичного прироста. Большой частотой встречаемости с кривой «большого роста» характеризуется форма с «плоским» типом апофиза (41 %) по сравнению с «выпуклым» типом (14 %). Для формы с «плоским» типом апофиза для 31 % деревьев представлена равномерная кривая. Для сосны с «выпуклым» типом равномерная кривая характерна для 21 % деревьев. Для формы сосны с «выпуклым» типом более свойственна кривая увеличения прироста в старшем возрасте (60 % деревьев), по сравнению с «плоским» типом апофиза (21 % деревьев). Таким образом, для сосны с «выпуклой» формой апофиза к возрасту спелости характерно увеличение радиального прироста, что свидетельствует о ее большей перспективности в хозяйственном отношении. Хвойные деревья северной тайги отличаются отсутствием четко выраженной кривой «большого рос-

та» в многолетней динамике их годичного прироста [9, 10, 11], что нашло подтверждение в нашей работе.

Анализ характера колебаний индексов прироста для разных форм сосны показал, что среднее значение этого показателя составляет 102 %. У формы с «выпуклым» и «плоским» типом апофиза наблюдались близкие значения индексов прироста (101–103 %), однако их дисперсии значительно различаются (на 265 %). У сосны с «выпуклым» типом апофиза максимальное и минимальное значение находятся в пределах от 55–157 %, а с «плоским» типом – 56–176 %. В целом амплитуда индексов прироста разных форм высокая, а колебания довольно синхронные (рис. 2).

Пространственно-временная изменчивость ширины годичных колец проявляется в ритмичности формирования более широких и более узких слоев. Иерархия циклов, чаще обусловленная солнечной активностью, вносит различный вклад в

ход развития природных процессов [8, 12]. В динамике радиального прироста присутствуют регулярные многолетние колебания (цикличность) различной длительности. В древесно-кольцевых хронологиях разных форм сосны циклы для формы с «выпуклым» типом апофиза между максимальными пиками прироста составляют 9,2 года, а между минимальными – 8,7 лет. Средний период цикла для плоской формы между максимальными пиками прироста составляют 10,3 года, а между минимальными – 7,8 лет (рис. 3).

В целом цикличность колебаний ширины годичных колец разных форм близка к солнечному циклу или циклу Швабе-Вольфа [8]. Довольно часто для обеих форм представлены циклы с малой периодичностью (менее 2 лет, 3–4-летние, 5–6-летние). Кроме того, выявлены циклы, близкие к циклу Хейла (22-летний магнитный цикл) [6, 8].

Заключение

В условиях постоянного избыточного увлажнения почв большей величиной радиального прироста характеризуются форма сосны обыкновенной с «выпуклым» типом апофиза (*f. gibba* Christ), по сравнению с деревьями с «плоской» формой апофиза (*f. plana* Christ) (t – критерий, $p < 0,01$). Хронологическая изменчивость радиального прироста деревьев разных форм сосны характеризуется очень высоким уровнем. Величина коэффициента изменчивости (в пределах дерева) для выборок с «плоским» и «выпуклым» типом апофиза имеет близкие значения ($C.V. = 47–53\%$).

Динамика средних значений радиального годичного прироста для форм, выделенных по типу апофиза семенных чешуй шишек, аппроксимируется полиномиальной кривой шестого порядка с довольно высокой достоверностью ($R^2 = 0,54–0,70$). Выявлены экстремумы прироста для сосны с «выпуклым» типом апофиза и «плоским» типом. Морфологические формы характеризуются высокой амплитудой и довольно синхронным распределением индексов

прироста. В динамике ширины годичных слоев у рассматриваемых форм сосны выявлено несколько типов возрастных кривых годичного прироста. Деревья дискретных форм сосны существенно не различаются по чувствительности к общему воздействию факторов. В исследованиях древесно-кольцевых хронологий прослеживается цикличность, близкая к 11-летнему солнечному циклу.

Работа выполнена при поддержке: ФАНО в рамках проекта № 0410 – 2014 – 0025; Программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект № 12-У-5-1005.

Библиографический список

1. Тарханов, С.Н. Морфоструктурные особенности и изменчивость биохимических признаков форм *Pinus sylvestris* L. (Pinaceae) в условиях избыточного увлажнения почв северной тайги / С.Н. Тарханов, Е.А. Пинаевская, Ю.Е. Аншукова // Растительные ресурсы, 2014. – Вып. 4. – С. 63–74.
2. Ваганов, Е.А. Анализ роста дерева по структуре годичных колец / Е.А. Ваганов, И.А. Терсков. – Новосибирск: Наука, 1977. – 150 с.
3. Румянцев, Д.Е. Влияние климатических факторов на рост сосны в южной Карелии / Д.Е. Румянцев // Лесоведение. – 2004. – № 5 – С. 73–75.
4. ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. ЦБ НТИГослесхоза, СССР, 1983. – 14 с.
5. Правдин, Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция / Л.Ф. Правдин. – М.: Наука, 1964. – 172 с.
6. Битвинскас, Т.Т. Дендроклиматические исследования / Т.Т. Битвинскас – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 172 с.
7. Мамаев, С.А. Уровни изменчивости анатомо-морфологических признаков сосны / С.А. Мамев // Ботанич. исслед. на Урале (Зап. Свердловск. отд.-я Всес. бот. общ-ва). Вып. 5. – Свердловск, 1970 – С. 58–67.
8. Матвеев, С.М. Методика дендрохронологического анализа / С.М. Матвеев. – Воронеж: РИО ВГЛТА, 1999. – 31 с.
9. Феклистов, П.А. Дендроклиматологический анализ прироста сосны и ели в северной подзоне тайги Архангельской области: автореф. дис. ... канд. биол. наук / П.А. Феклистов. – Тарту, 1978. – 19 с.
10. Шиятов, С.Г. О некоторых особенностях роста древесных растений на верхнем и полярном пределах лесов / С.Г. Шиятов // Вопросы древесного прироста в лесоустроительстве. – Каунас, 1967. – С. 107–111.
11. Шиятов, С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале / С.Г. Шиятов. – М.: Наука, 1986. – 136 с.
12. Мазепа, В.С. Пространственно-временная изменчивость радиального прироста хвойных видов деревьев в субарктических районах Евразии: дисс. ... д-ра биол. наук / В.С. Мазепа. – Екатеринбург, 1998. – 38 с.
13. Fritts H.S. Tree rings and climate. London, N.Y.; San Francisco: Acad. Press. (Tree-rings), 1976. 567 p.

VARIABILITY OF RADIAL GROWTH OF FORMS *PINUS SYLVESTRIS* L.
WITH DIFFERENT TYPES OF APOPHYSIS OF SEED SCALES

Pinaevskaya E.A., Post-Graduate Student, Junior Researcher of Institute of Ecological Problems of the North ⁽¹⁾; Tarkhanov S.N., Head of the Laboratory of Ecology of populations and communities of Institute of Ecological Problems of the North, Doctor of Biological Sciences ⁽¹⁾

aviatorov8@mail.ru; tarkse@yandex.ru

⁽¹⁾ Institute of Ecological Problems of the North, Ural Branch of Russian Academy of Sciences 163000, Arkhangelsk, nab. Northern Dvina, d. 23

The variability of radial growth of pine forms with different types of apophysis of seed scales of cones in the conditions of constantly overmoistered soils of northern taiga has been studied. The cores of different forms of the pine with different types of apophysis of seed scales of the cones have been used for dendrochronological analysis. The proportion of trees with the «convex» type of apophysis which grow in pine sphagnum groups of forest types in the northern taiga in the Northern Dvina basin can account for up to 90 %, with the «flat» type – up to 20 %. The pine with the «convex» type of apophysis is characterized with a larger radial growth compared to that with a «flat» type. The chronological variability of radial growth of different forms of the pine is at the high level. The dynamics of the average values of radial growth for different forms is approximated by a sixth-order polynomial curve with a fairly high degree of confidence. The extremums of growth for the pine with the «convex» type of apophysis and with the «flat» type have been revealed. The morphological forms are characterized with a high amplitude and a similar distribution of growth indexes. In the dynamics of the width of the annual rings of different forms of pine several types of age curves of annual growth have been revealed. The tree forms did not significantly differ in their sensitivity to the factor effects. The periodicity of tree-ring chronology is close to 11-year solar cycle.

Key words: *Pinus sylvestris* L., shape, apophysis of seed scales of cones, radial growth, overmoistered soils, northern taiga.

References

1. Tarkhanov S.N., Pinaevskaya E.A., Anshukova Yu.E. *Morfostrukturnye osobennosti i izmenchivost' biokhimicheskikh priznakov form Pinus sylvestris L. (Pinaceae) v usloviyakh izbytochnogo uvlazhneniya pochv severnoi taiga* [Morphostructural features and variability of biochemical characters of *Pinus sylvestris* (Pinaceae) variants under overwetting of soils in the northern taiga]. *Rastitel'nye resursy* [Plant Resources], 2014, Issue 4, pp. 63 – 74.
2. Vaganov E.A., Terskov I.A. *Analiz rosta dereva po strukture godichnykh kolets* [Analysis of tree growth on the structure of annual rings]. Novosibirsk, Nauka, 1977. 150 p.
3. Rumyantsev D.E. *Vliyaniye klimaticheskikh faktorov na rost sosny v yuzhnoi Karelii* [The influence of climatic factors on growth of pine in southern Karelia] // *Lesovedeniye* [Forestry], 2004, No 5, pp. 73–75.
4. OST 56-69-83. *Ploshchadi probnye lesoustroitel'nye. Metod zakladki* [Industry Standard 56-69-83. Square test forest management. Method bookmarks]. USSR, State Forestry TSBNTI, 1983. 14 p.
5. Pravdin L.F. *Sosna obyknovennaya. Izmenchivost', vnutrividovaya sistematika i selektsiya* [Scots pine. Variability, intraspecific taxonomy and selection]. Moscow, Nauka, 1964. 172 p.
6. Bitvinskas T.T. *Dendroklimateicheskie issledovaniya* [Dendroclimatic research]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1974. 172 p.
7. Mamaev S.A. *Urovni izmenchivosti anatomo-morfologicheskikh priznakov sosny* [Levels of anatomical and morphological variability of pine]. *Botanich. issled. na Urale* [Botanical research in the Urals]. Sverdlovsk, 1970, Issue 5. pp. 58–67.
8. Matveev S.M. *Metodika dendrokronologicheskogo analiza* [Methodology dendrochronological analysis]. Voronezh, RIO VGLTA, 1999. 31 p.
9. Feklistov P.A. *Dendroklimatologicheskii analiz prirosta sosny i eli v severnoi podzone taigi Arkhangel'skoi oblasti*. Diss. kand. biol. nauk [Dendroclimatological analysis of growth of pine and spruce in the northern taiga subzone of the Arkhangelsk Region. Cand. biol. sci. diss.]. Tartu, 1978. 19 p.
10. Shiyatov S.G. *O nekotorykh osobennostyakh rosta drevesnykh rastenii na verkhnem i polyarnom predelakh lesov* [Some peculiarities of the growth of woody plants in the upper and polar forests within]. *Voprosy drevesnogo prirosta v lesoustroistve* [Questions wood increment in forest management]. Kaunas, 1967. pp. 107 - 111.
11. Shiyatov S.G. *Dendrokronologiya verkhnei granitsy lesa na Urale* [The dendrochronology the upper border of forest in the Urals]. Moscow, Nauka, 1986. 136 p.
12. Mazepa V.S. *Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' radial'nogo prirosta khvoynykh vidov derev'ev v subarkticheskikh raionakh Evrazii* [Spatio-temporal variability of radial growth of coniferous tree species in the subarctic regions of Eurasia]. Avtoref. diss. ... d. b. n. Ekaterinburg, 1998. 38 p.
13. Fritts H.S. *Tree rings and climate*. London, NewYork, San Francisco, Academic press, 1976. 567 p.

СОСТОЯНИЕ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ РОСТА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ЛЕСОСЕМЕННЫХ ОБЪЕКТАХ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

В.Ф. КОНОВАЛОВ, *проф. Башкирского ГАУ, д-р с.-х. наук*⁽¹⁾,
Э.Р. НАСЫРОВА, *асп. Башкирского ГАУ*⁽¹⁾

konovalov-48@mail.ru, elia1989@mail.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34

Представлены результаты изучения закономерностей роста и развития сосны обыкновенной, произрастающей в наиболее важных в селекционном семеноводстве лесосеменных объектах – постоянных лесосеменных участках и лесосеменных плантациях. Данные лесосеменные объекты в Республике Башкортостан являются преобладающими по площади и представляют большой научный и практический интерес в плане лесного селекционного семеноводства. Поэтому выполнение поставленных задач нашего научного исследования было сосредоточено на этих лесосеменных объектах. Дана селекционная оценка насаждениям сосны обыкновенной, определены основные морфометрические показатели деревьев вида – диаметр, высота, размер кроны и качество древесных стволов. Лесосеменные плантации, создаваемые семенным и вегетативным путем, являются ценными объектами и предназначены для заготовки семян улучшенной селекционной категории. В республике имеются лесосеменные плантации первого порядка, не прошедшие генетическую оценку по семенному или вегетативному потомству материнских плюсовых деревьев. Изучение закономерностей роста сосны обыкновенной на лесосеменных плантациях позволило установить, что лучшими морфометрическими показателями стволов характеризуются насаждения вегетативного (клонового) происхождения, по сравнению с семенным. Оценивая состояние и рост сосны обыкновенной на постоянных лесосеменных участках, отметим следующее. Деревья данного вида характеризуются хорошим состоянием, успешным ростом, развитием кроны и продуцированием высококачественных семян. Вышеизложенное свидетельствует о необходимости расширения работ по созданию и формированию новых площадей постоянных лесосеменных участков, позволяющих увеличить объемы заготовки высококачественного семенного сырья. Результаты исследования позволят получить объективные данные о селекционной ценности существующих лесосеменных объектов сосны обыкновенной, занимающей лидирующее положение среди хвойных видов в регионе, и их рациональном использовании в лесном семеноводстве.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, рост, диаметр, высота, прирост, лесосеменные объекты, лесосеменные плантации, лесосеменные участки.

Сложные многоцелевые функции леса требуют на современном этапе разностороннего подхода к его использованию и воспроизводству. Под влиянием различных факторов процессы саморегуляции леса часто нарушаются, что подтверждается недостаточной обеспеченностью подростом хвойных насаждений на территории Республики Башкортостан. Отсутствие предварительного возобновления сосны, смена пород в результате рубок леса, а также другие причины обуславливают необходимость создания искусственных лесных насаждений [1].

Повышение продуктивности и качества искусственно создаваемых лесов возможно путем использования генетически ценных лесных семян. Заготовка таких семян осуществляется на объектах единого генетико-селекционного комплекса (ЕГСК), созданных для каждого лесосеменного района с учетом эдафического и типологического

происхождения исходного материала. Создание ЕГСК и на его основе постоянной лесосеменной базы является, во-первых, необходимым условием сохранения генофонда главных лесообразующих хвойных древесных видов региона – сосны и ели, а во-вторых – предпосылкой для дальнейшего увеличения генетического биоразнообразия лесных насаждений [2, 3].

В последние годы вопросам создания лесосеменных объектов сосны обыкновенной не уделяется должного внимания. Необходимо проводить исследовательские работы по изучению закономерностей роста, развития и состояния деревьев сосны обыкновенной на лесосеменных объектах Республики Башкортостан. Эта работа позволит в будущем создавать высокопродуктивные и устойчивые лесосеменные объекты и культуры сосны обыкновенной за счет оценки продуктивности древостоев и оценки эффективности лесосеменной базы данного вида.

Динамика изменения площадей объектов ЕГСК в Республике Башкортостан
Changes in areas of experimental populations and sites in the Republic of Bashkortostan

Порода	Год	Лесосеменные плантации (ЛСП), га	Лесосеменные участки (ПЛСУ), га
Сосна обыкновенная	2008	137,9	915,7
	2013	93,4	344,9
Изменения за 5 лет		-44,5	-568,8

Цель нашего научного исследования заключалась в оценке состояния и роста деревьев сосны обыкновенной, произрастающих на постоянных лесосеменных участках (ПЛСУ) и лесосеменных плантациях (ЛСП), по основным морфометрическим признакам – диаметру, высоте стволов, размерам кроны, хвои и шишек.

Научные исследования проводились на лесосеменных объектах сосны обыкновенной в Дюртюлинском, Туймазинском и Макаровском лесничествах Министерства лесного хозяйства Республики Башкортостан.

По материалам инвентаризации объектов ЕГСК в 2008 и 2013 гг. выявлено уменьшение площадей ЛСП и ПЛСУ сосны обыкновенной по Республике Башкортостан (табл. 1).

Списанию ЛСП, как несоответствующих статусу объектов ЕГСК, послужили такие причины, как поражение патогенными организмами, недостаточность либо чрезмерная интенсивность лесоводственных и агротехнических уходов, вследствие которых происходит смена пород либо гибель насаждений, а также несоответствие этих объектов требованиям стандарта ОСТ 56-74-96 [4]. В Республике Башкортостан площадь ЛСП сосны обыкновенной за анализируемый период сократилась на 44,5 га.

Основными требованиями к ПЛСУ являются преобладание ценных по фенотипу деревьев, их интенсивное плодоношение и удобство сбора семян. Улучшение качественного состава таких насаждений, обеспечение хорошего развития крон семенных деревьев, раннего устойчивого и обильного плодоношения, а также создание благоприятных условий для заготовки семенного сырья достигается за счет изреживаний дре-

востоев в несколько приемов [5]. Поэтому отсутствие своевременных изреживаний с возрастом приводит к отмиранию нижней части кроны семенных деревьев хвойных видов, что снижает урожайность и затрудняет сбор семян [6]. В Республике Башкортостан произошло уменьшение площади ПЛСУ сосны обыкновенной на 568,8 га как несоответствующих требованиям ОСТ 56-35-96 [7], которые переведены в категорию нормальных насаждений.

Наиболее распространенными являются ЛСП общего назначения – семейственные, цель создания которых – массовое получение семян с улучшенными наследственными свойствами [8, 9]. Изучаемые нами лесосеменные плантации заложены в 1990 (ЛСП № 33), 1993 (ЛСП № 36), 1995 (ЛСП № 37), 2000 (ЛСП № 43) годах, маточная плантация (№ 24) – в 1985 г. в Дюртюлинском лесничестве Республики Башкортостан. На данных объектах проведено измерение высоты, диаметра стволов и ширины кроны всех нормально развитых деревьев сосны обыкновенной. На основании полученных данных вычислены средние значения изучаемых признаков, которые приведены в табл. 2.

На основании проведенных исследований отмечено следующее. Средняя высота разновозрастных деревьев сосны обыкновенной варьирует от 2,8 м до 10,7 м, диаметр ствола – 5,8 см – 24,3 см, ширина кроны – 1,6 м – 6,3 м. В лесосеменных объектах сосна обыкновенная характеризуется хорошим ростом и состоянием деревьев.

В наших исследованиях было уделено важное внимание изучению размеров хвои и приростов однолетних побегов у деревьев сосны обыкновенной на лесосеменных планта-

Состояние и рост сосны обыкновенной на лесосеменных объектах
Condition and growth of Scots pine in the forest seed sites

№ ЛСП	Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Ширина кроны, м	Состояние деревьев
Плانتации семейственные					
33	19	7,2±0,25	23,3±1,23	6,1±0,19	хорошее
43	9	2,8±0,15	5,8±0,24	1,6±0,08	хорошее
37	14	5,0±0,28	12,9±0,58	3,4±0,12	хорошее
36	16	6,3±0,23	16,2±0,72	4,6±0,18	хорошее
Плانتации маточные					
24	24	10,7±0,42	24,3±1,36	6,3±0,23	хорошее

Размер хвои и прирост однолетних побегов сосны обыкновенной
Needle size and growth of annual shoots of Scots pine

№ ЛСП	Длина хвои, см		Ширина хвои, мм		Годовой прирост побега, см	
	$X \pm m_x$	$V, \%$	$X \pm m_x$	$V, \%$	$X \pm m_x$	$V, \%$
Плانتации семейственные						
33	6,8±0,29	5,9	1,4±0,12	11,1	12,9±1,87	19,8
43	7,6±1,02	18,5	1,5±0,07	5,9	12,6±2,13	23,3
37	7,5±0,57	10,4	1,6±0,07	6,5	12,6±2,10	22,9
36	7,4±0,50	9,3	1,6±0,14	12,1	11,9±2,31	26,6

циях, созданных посевом семян с плюсовых деревьев вида (табл. 3).

В ходе изучения морфометрических параметров хвои установлено, что ее длина в среднем составляет от 6,8±0,29 см до 7,6±1,02 см; ширина – от 1,4±0,12 мм до 1,6±0,14 мм. Годичный прирост однолетнего побега варьирует от 11,9±2,31 см до 12,9±1,87 см. Уровень изменчивости по длине ($V = 5,9-18,5 \%$) и ширине хвои ($V = 5,9-12,1 \%$) в большинстве случаев оценивается как очень низкий и средний, а по годовому приросту побегов – как средний и высокий ($V = 19,8-26,6 \%$). В северной части кроны длина хвои меньше, чем в южной. Наибольшей длины хвоя достигает на основном побеге. У большинства деревьев длина хвои существенно превышает средние значения данного признака для всей учтенной их совокупности.

На лесосеменных объектах Туймазинского лесничества установлена взаимосвязь морфометрических показателей – варьируют в зависимости от способа их создания

(табл. 4). Лучшим ростом по высоте и диаметру стволов характеризуются деревья сосны обыкновенной вегетативного происхождения.

Учет и обмер деревьев сосны обыкновенной в различные годы – 1997 и 2013. Размещение деревьев на изучаемых лесосеменных плантациях составляет 7,0×5,0 м, а на ЛСП № 12 – 8,0×7,0 м. Данные схемы размещения деревьев сосны обыкновенной являются оптимальными и обеспечивают их хороший рост и развитие кроны.

Длина хвои, по мнению А.И. Чернодубова [10], является косвенным показателем энергии роста деревьев, несмотря на ее значительную вариабельность по годам. Установлено, что деревья сосны обыкновенной с более длинной хвоей и большим числом веток в мутовке являются быстрорастущими.

На клоновых и семейственных плантациях в сравнительном аспекте были изучены размеры хвои и шишек сосны обыкновенной (табл. 5).

Динамика роста сосны обыкновенной на лесосеменных плантациях различного происхождения
The dynamics of growth of pine ordinary in seed orchards of various origins

№ ЛСП	Возраст, лет	Годы учета							
		1997				2013			
		средняя высота, м		средний диаметр, см		средняя высота, м		средний диаметр, см	
		$X \pm m_x$	Z_h	$X \pm m_x$	Z_d	$X \pm m_x$	Z_h	$X \pm m_x$	Z_d
Плантации клоновые									
13	36	8,9±0,49	0,24	13,5±1,56	0,38	15,6±0,34	0,43	23,7±1,05	0,68
22	37	8,5±0,50	0,23	13,3±1,62	0,36	16,2±0,32	0,44	25,4±0,93	0,69
Плантации семейственные									
12	25	4,6±0,44	0,18	6,5±0,43	0,26	8,8±0,22	0,27	14,8±0,66	0,51
34	38	8,6±0,75	0,23	13,1±0,78	0,34	14,5±0,21	0,38	23,6±0,38	0,62

Т а б л и ц а 5

Размеры хвои и шишек сосны обыкновенной на лесосеменных плантациях
Needle size and cone size of Scots pine in seed orchards

№ ЛСП	Возраст, лет	Длина хвои, см		Ширина хвои, мм		Длина шишки, см		Диаметр шишек, см	
		$X \pm m_x$	$V, \%$	$X \pm m_x$	$V, \%$	$X \pm m_x$	$V, \%$	$X \pm m_x$	$V, \%$
Плантации клоновые									
22	37	8,6±0,07	8,6	1,3±0,01	6,1	5,2±0,04	8,5	5,1±0,03	6,8
Плантации семейственные									
34	38	7,6±0,09	13,2	1,2±0,01	7,9	4,6±0,03	6,6	4,5±0,02	6,2

Т а б л и ц а 6

Сравнительный анализ роста сосны обыкновенной на постоянном лесосеменном участке
A comparative analysis of the growth of pine ordinary in the permanent forest area

Годы учета	Средние статистические показатели			Достоверность различия ($t_{\text{факт.}}$)
	$X \pm m_x$	$P, \%$	$V, \%$	
Диаметр, см				
2007	18,2±1,02	5,6	28,6	3,92
2012	23,2±1,34	5,8	34,2	
Высота, м				
2007	15,2±0,72	4,7	13,2	3,87
2012	19,0±0,96	5,0	14,8	
Диаметр кроны, см				
2007	3,9±0,09	2,3	17,3	1,9

Примечание: $tst = 2,00-2,66-3,46$

Уровень изменчивости размеров хвои и шишек оценивается как очень низкий и низкий.

Насаждения сосны обыкновенной вегетативного происхождения по диаметру и

высоте стволов показывают лучшие результаты по сравнению с насаждениями семенного происхождения. Следовательно, лесосеменные плантации вегетативного происхождения, с редким размещением деревьев, являют-

ся наиболее перспективными по сравнению с семенным происхождением. Их создание позволяет более полно сохранить наследственные свойства плюсовых деревьев и позволяет регулировать семеношение за счет использования высокоурожайных клонов сосны обыкновенной [11].

В Макаровском лесничестве нами изучены ПЛСУ сосны обыкновенной на площади 52,4 га. Данные лесосеменные объекты созданы и сформированы с периодичностью в несколько лет. Они характеризуются хорошим состоянием произрастающих деревьев и по своему целевому назначению соответствуют требованиям ОСТ 56-35-96 [7].

Нами был проведен сравнительный анализ роста деревьев сосны обыкновенной по высоте, диаметру стволов и диаметру кроны на ПЛСУ 1979 г. создания (табл. 6).

Выбор данных морфометрических признаков обусловлен тем, что они играют важную роль в формировании репродуктивных органов деревьев и являются диагностическими при отборе на ПЛСУ лучших особей для проведения селекционных работ, направленных на повышение эффективности этих семеноводческих объектов.

Полученные сравнительные данные по различным годам учета (2007 г. и 2012 г.) свидетельствуют о позитивной динамике роста деревьев сосны обыкновенной по высоте ($t_{\text{факт.}} = 3,92 > t_{0,01} = 3,46$) и диаметру стволов ($t_{\text{факт.}} = 3,87 > t_{0,01} = 3,46$). По диаметру кроны деревьев данного вида различия оказались несущественными, что подтверждается соответствующим коэффициентом достоверности ($t_{\text{факт.}} = 1,90 < t_{0,05} = 2,00$).

Резюмируя вышеизложенное, необходимо отметить, что в селекционном отношении наиболее качественными лесосеменными объектами являются лесосеменные плантации, создаваемые вегетативным материалом (клоновые), заготавливаемым с плюсовых деревьев сосны обыкновенной. В связи с этим при создании новых лесосеменных объектов сосны обыкновенной предпочтение следует отдавать лесосеменным плантациям вегетативного происхождения.

Обследованные в ходе селекционной инвентаризации лесосеменные плантации и постоянные лесосеменные участки сосны обыкновенной в целом характеризуются хорошим состоянием, ростом и развитием деревьев. По изученным морфометрическим показателям стволов данные лесосеменные объекты отвечают требованиям соответствующих отраслевых стандартов и пригодны для заготовки улучшенных семян.

Использование семян с плюсовых деревьев сосны обыкновенной с ценными наследственными признаками при выращивании сеянцев в лесных питомниках способствует решению одной из важных проблем лесного комплекса Республики Башкортостан – созданию высококачественных устойчивых искусственных насаждений данного вида.

Библиографический список

1. Леса Башкортостана / А.Ф. Хайретдинов и др. – Уфа: ОГУПР РФ, БГАУ, 2004. – С. 40–41.
2. Долголиков, В.И. Величина шишек и семян ели на клоновых семенных плантациях / В.И. Долголиков // Лесное хозяйство. – 1977. – № 3. – С. 46–47.
3. Кобельков, М.Е. Лесное семеноводство на пороге перемен / М.Е. Кобельков // Лесная Россия. – 2008. – № 9. – С. 4–8.
4. Плантации лесосеменные основных лесобразующих пород. Основные требования / ОСТ 56-74-96. – Введ. 1996-01-01. – М.: Рослесхоз, 1996. – 30 с.
5. Маркова, И.А. Современные проблемы лесовыращивания (Лесокультурное производство) / И.А. Маркова. – Спб.: СПбГЛТА, 2008. – С. 6–8.
6. Болонин, И.П. Инвентаризация объектов ЕГСК в лесном фонде Новосибирской и Омской областях / И.П. Болонин, В.Е. Кулаков, Р.В. Роговцев // Хвойные борьальные зоны. – 2010. – № 1–2. – С. 44.
7. Участки лесные семенные постоянные основных лесобразующих пород. Основные требования, закладка и формирование: ОСТ 56-35-96. – Введ. 1996-01-01. – М.: Рослесхоз, 1996. – 28 с.
8. Раевский, Б.В. Изменчивость и взаимосвязь морфологических признаков и биометрических показателей сеянцев сосны и ели / Б.В. Раевский, А.А. Мордась, А.А. Ильинов // Лесной журнал. – 2007. – № 6. – С. 21.
9. Урмаков, Г.Н. Теория и практика районирования и семеноводства сосны / Г.Н. Урмаков, М.М. Котов. – Чебоксары, 1999. – 168 с.
10. Чернодубов, А.И. Изменчивость морфолого-анатомических признаков сосны обыкновенной в островных борах юга Русской равнины / А.И. Чернодубов // Лесоведение. – 1994. – № 2. – С. 28–35.
11. Ефимов, Ю.П. Селекционные плантации в селекции и семеноводстве сосны обыкновенной / Ю.П. Ефимов. – Воронеж: Истоки, 2010. – 253 с.

STATE AND GROWTH REGULARITIES OF SCOTS PINE FOREST SEED AT THE OBJECTS OF THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

Konovalov V.F., prof. Bashkir State Agrarian University, Dr. Sci. (Agricultural) ⁽¹⁾; **Nasyrova E.R.**, assistant Bashkir State Agrarian University ⁽¹⁾

konovalov-48@mail.ru, elia1989@mail.ru

⁽¹⁾Bashkir State Agrarian University, Ufa, 50-letiya Octyabrya str., 34

The article presents the results of studying the regularities of growth and development of Scots pine growing in the most important places for the selection – at forest seed sites i.e. permanent forest plots and seed orchards. These forest seed sites in Bashkortostan are predominant in size and are of a great scientific and practical interest in terms of forest seed breeding. Therefore, the fulfillment of the objectives of our research has been focused on these forest seed sites. Scots pine plantations have been evaluated from the point of view of selection, the basic morphometric parameters of trees species such as diameter, height, crown size and quality of tree trunks have been calculated. Seed orchards created by seeds and vegetatively are valuable objects and are made for the procurement of seeds of the improved breeding category. The republic has first-class seed orchards that have not passed the genetic evaluation of seed or vegetative offsprings of parent plus trees. The study of the regularities of growth of Scots pine seed orchards has revealed that the best morphometric parameters of trunks are typical of vegetative plantings (clonal origin), compared to the seed ones. Assessing the state and growth of Scots pine on permanent forest plots we should mention the following fact. The trees of the given species are characterized with good state, fruitful growth, crone development and production of high quality seeds. The above mentioned facts highlight the need for the expansion of works on the creation and development of new areas of permanent forest plots, which would allow to increase the procurement of high quality seed material. The results of the studies will provide the objective data on the breeding value of the existing sites of Scots pine, which occupies the leading position among the coniferous species in the region and their rational use in forest seed production.

Keywords; scots pine; height; diameter; height; growth; forest seed sites; forest seed plantations; forest seed plots.

References

1. Khayretdinov A.F. *Les Bashkortostana* [Forests of Bashkortostan]. Ufa: OGUPR RF BSAU, 2004, pp. 40-41.
2. Dolgolikov V.I. *Velichina shishek i semyan eli na klonovykh semennykh plantatsiyakh* [The value of fir cones and seeds on clonal seed orchards]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 1977, N. 3, pp. 46-47.
3. Kobel'kov M.E. *Lesnoe semenovodstvo na poroge peremen* [Forest seed on the verge of change]. *Lesnaya Rossiya* [Russian Forest], 2008, N. 9, pp. 4-8.
4. OST 56-74-96. *Plantatsii lesosemnyye osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod. Osnovnyye trebovaniya* [Industry Standard 56-74-96. Plantation forest seed main forest species. Basic requirements]. Introduced 1996-01-01. Moscow, Federal Forestry Agency, 1996. 30 p.
5. Markova I.A. *Sovremennye problemy lesovyrashchivaniya (Lesokul'turnoe proizvodstvo)* [Modern problems of forest cultivation (silvicultural production)]. St.Petersburg, SPbGLTA, 2008. pp. 6-8.
6. Bolonin I.P., Kulakov V.E., Rogovtsev R.V. *Inventarizatsiya ob'ektov EGSK v lesnom fonde Novosibirskoy i Omskoy oblastyakh* [Inventory objects UGSC in the forests of Novosibirsk and Omsk regions]. *Khvoynye boreal'nye zony* [Coniferous Boreal], 2010. N. 1-2. pp. 44.
7. OST 56-35-96. *Uchastki lesnye semnyye postoyannye osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod. Osnovnyye trebovaniya, zakladka i formirovanie* [Lots permanent forest seed main forest species. Basic requirements, bookmark and formation]. Introduced 1996-01-01. Moscow, Federal Forestry Agency, 1996. 28 p.
8. Raevskiy B.V., Mordas' A.A., Il'inov A.A. *Izmenchivost' i vzaimosvyaz' morfologicheskikh priznakov i biometricheskikh pokazateley seyantsev sosny i eli* [Volatility and correlation of morphological features and biometric indicators seedlings of pine and spruce]. *Lesnoy zhurnal* [Journal of forestry], 2007. N. 6. pp. 21.
9. Urmakov G.N., Kotov M.M. *Teoriya i praktika rayonirovaniya i semenovodstva sosny* [Theory and practice of zoning and seed pine]. Cheboksary, 1999. 168 p.
10. Chernodubov, A.I. *Izmenchivost' morfologo-anatomicheskikh priznakov sosny obyknovnoy v ostrovnykh borakh yuga Russkoy ravniny* [Variability of morphological and anatomical characters of Scots pine forests of the South Island in the Russian Plain]. *Lesovedenie* [Silviculture], 1994. N. 2. pp. 28-35.
11. Efimov, Yu.P. *Seleksionnye plantatsii v seleksii i semenovodstve sosny obyknovnoy* [Breeding plantation in breeding and seed production of Scots pine]. Voronezh: Origins, 2010. 253 p.

УДК 630.232

ПРИЧИНЫ ПОКОЯ СЕМЯН НЕКОТОРЫХ ВИДОВ РОДА *PAEONIA* L.О.А. РУДАЯ, инженер-лаборант, Ботанический сад МГУ им. М.В. Ломоносова (БСМГУ)⁽¹⁾,О.В. ЧЕРНЫШЕНКО, проф. МГУЛ, д-р биол. наук⁽²⁾,С.В. ЕФИМОВ, ст. науч. сотрудник Ботанического сада МГУ им. М.В. Ломоносова (БСМГУ), канд. биол. наук⁽¹⁾,Г.Н. КОНОНОВ, доц. МГУЛ, канд. техн. наук⁽²⁾

usuri85@mail.ru, tchernychenko@mgul.acl.ru, efimov-msu@yandex.ru, caf-chem@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ Ботанический сад МГУ им. М.В. Ломоносова (БСМГУ),

119991, Москва, Ленинские горы, 1/12

⁽²⁾ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет леса»

141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1

Одной из острых проблем нашего времени по-прежнему остается сохранение биологического разнообразия для будущих поколений. Растительные ресурсы планеты заметно сокращаются, особенно подвержены этому процессу редкие и уязвимые в природе виды. В первую очередь, это связано с антропогенной деятельностью человека, который отрицательно воздействует на природные экосистемы. Одним из таких уязвимых родов является род Пион (*Paeonia* L.), многие виды которого находятся под угрозой исчезновения. Проблема усугубляется еще и тем, что семенная продуктивность пионов очень низкая (семена прорастают 10–16 месяцев). В связи с этим возникает необходимость изучения репродуктивной биологии, в том числе и причин покоя семян. Объектами исследования послужили семена – *P. lactiflora* и *P. suffruticosa*. В статье приводятся данные биохимического анализа на количественное содержание пероксидазы, лигнина и целлюлозы в семенах некоторых видов рода *Paeonia* L. Определение активности пероксидазы проводили по методике А.Н. Бояркина. Метод основан на измерении времени, за которое опытный раствор достигает определенной оптической плотности. Лигнин определяли по методу Попова, который заключался в обработке семенной кожуры пиона раствором хлорида цинка в соляной кислоте. Целлюлозу определяли по методу Кюршнера и Хоффера (азотно-спиртовой метод), основанному на обработке семенной кожуры спиртовым (этанольным) раствором азотной кислоты. Существует несколько причин покоя семян видов рода *Paeonia* L. В первую очередь это недоразвитый зародыш. Медленное прорастание семян видов рода *Paeonia* L. зависит и от глубокого физиологического покоя эпикотиля – точки роста побега. Это может быть связано с наличием в семенах пиона абсцизовой кислоты (АБК). Низкая ферментативная активность также влияет на развитие зародыша внутри семени и его прорастание. Медленное прорастание семян пионов может зависеть и от лигнина – природного полимера, который содержится в семенной кожуре и снижает проницаемость растительных клеток для воды.

Ключевые слова: виды рода *Paeonia* L., покой семян, недоразвитый зародыш, абсцизовая кислота (АБК), пероксидаза, лигнин, целлюлоза.

Род *Paeonia* L. – реликт аркто-третичной мезофильной флоры [1]. Центром происхождения по сведениям разных авторов [2, 3] принято считать Юго-Западный Китай, однако высказывались предположения и в пользу Кавказа как второго возможного центра. В современной флоре монотипный род Пион насчитывает 32 вида, представители которого объединены в 4 подрода и 6 секций [4]. Ареалы видов преимущественно расположены в Северном полушарии от Восточной Азии до Южной Европы, несколько видов встречаются также в Северной Америке и Северной Африке [5, 6, 7].

Основными причинами сокращения видов рода *Paeonia* L. является антропогенное воздействие на природные экосистемы, а также использование растений в лекарственных и декоративных целях. Эта проблема усугубляется еще и тем, что семенная продуктивность пионов не очень высокая, а семена прораста-

ют 10–16 месяцев. Размножение растений в природе вегетативным способом наблюдается очень редко, и распространение видов происходит в основном с помощью семян.

В ботанических садах уже давно занимаются акклиматизацией и интродукцией видов пиона. Однако проблема сохранения биологического разнообразия остается весьма актуальной. Во избежание уменьшения численности редких видов возникает необходимость не только в охране природных популяций, но и размножении видов в культуре и репатриации их в природные сообщества. Поэтому в задачи наших исследований входило изучение причин покоя семян некоторых видов рода *Paeonia* L.

Материалы и методы

Объектами исследования послужили семена, собранные с интродуцированных в

Ботаническом саду МГУ имени Ломоносова растений – *P. lactiflora* и *P. suffruticosa*.

P. lactiflora Pall. (представитель подрода *Albiflora*) в природных условиях произрастает по берегам рек, на каменистых склонах, в открытых долинах и среди кустарников (рис. 1). Пион молочнокветковый относится к поликарпическим травам и адаптирован к низким температурам и достаточно высокой влажности воздуха. Ареал пиона молочнокветкового – Китай, Монголия. В России проходит северная граница вида, встречается в Приморском и Хабаровском краях, Амурской и Читинской, областях. *P. lactiflora* Pall. включен в Красную книгу РСФСР [8], статус 4 (I) – вид с неопределенным статусом; в Красную книгу РФ [9] – вид, сокращающийся в численности. Также входит в Красные книги Читинской области [12], Хабаровского [13] и Приморского края [14]. В изданиях Красной книги Монголии [10, 11], в законе «О флоре Монголии» пион молочнокветковый зарегистрирован как очень редкий вид.

P. suffruticosa Andrews (представитель подрода и секции *Moutan*) является эндемиком Юго-Западного Китая (рис. 2). Жизненная форма – геоксильный кустарник [15]. Произрастает в провинциях Хенань, Ганьсю, Шаньси, Анхуи, Шенси, Хубей, Тибете в основном в горном лесном и субальпийском поясах, на высотах 2360 – 4250 м над уровнем моря [16]. Растения адаптированы к перепадам температур и влажности воздуха.

В данной статье изучены причины покоя семян пионов, сделан биохимический анализ на определение активности пероксидазы в проросших семенах пионов, а также проведен анализ на определение лигнина и целлюлозы в семенной кожуре.

Определение активности пероксидазы проводили по методике А.Н. Бояркина [17]. Метод основан на измерении времени, за которое опытный раствор достигает определенной оптической плотности. В качестве субстрата использовали бензидин, в результате окисления которого образуется соединение синего цвета. Скорость реакции окисления бензидина до образования синего продукта измеряли с помощью фотоколориметра (КФК-3).

Лигнин определяли по методу Попова [18], который заключался в обработке семенной кожуры пиона раствором хлорида цинка в соляной кислоте, при этом выделяемый лигнин сохраняет свою структуру, легко отделяется от раствора фильтрованием.

Целлюлозу определяли по методу Кюршнера и Хоффера (азотно-спиртовой метод), основанном на обработке семенной кожуры спиртовым (этанольным) раствором азотной кислоты [18].

Результаты и их обсуждение

Семена многих покрытосеменных растений могут находиться в состоянии покоя. М.Г. Николаева [19, 20, 21] выделяет два вида покоя: вынужденный и органический. Вынужденный покой характеризуется особенностями строения и физиологическими свойствами семян, позволяющим им длительное время сохранять жизнеспособность при отсутствии условий для прорастания. При органическом покое семена не способны прорасти даже при благоприятных условиях. Для семян пионов характерен простой морфофизиологический эпикотильный покой [20].

Одной из причин длительного покоя семян рода *Paeonia* L., по мнению разных авторов [22, 23, 24, 25], является недоразвитый зародыш. Главной особенностью семян с недоразвитым зародышем является его развитие при помещении семени в благоприятную для прорастания среду.

У представителей рода *Paeonia* L. ко времени созревания плодов в семенах имеется лишь зачаточное недоразвитое слабодифференцированное клеточное тело (зародыш), которое в 600 раз меньше по весу, чем эндосперм. Семенные покровы у пиона проницаемы для воды и способны ее удерживать. Содержание жиров и белков в эндосперме низкое, кроме того, и ферменты семени малоактивны, что обуславливает медленное прорастание семян [24]. Зародыш формируется вне плода, пион начинает развитие как геофит [15], дальнейшее развитие зародыша происходит в постэмбриональный период.

Семена изученных видов рода *Paeonia* L. достаточно крупные (табл.). У *P. lactiflora*

Морфологические признаки семян некоторых видов рода *Paeonia* L.
Morphological characteristics of seeds of some species of the genus *Paeonia* L.

Виды	Размер семян (свежесобранные), мм (min-max) / М (среднее значение)	Размер семян в сухом виде, мм (min-max) / М (среднее значение)	Окраска семян, визуально и по универсальной колористической шкале (RHS)	Размер рубчика, мм	Сред. вес 1/10 шт. семян, гр	Форма семян
2	3	4	5	6	7	8
<i>P. lactiflora</i>	9-10×5-6 9.5×5.5	8-9×5-6 8.5×5.5	темно-коричневые, 166А	2	0.21/2.1	эллипсоидальная
<i>P. suffruticosa</i>	11-12×7-8 11.5×7.5	11-11.5×7-7.5 11.25×7.25	черные с матовым блеском, 202А	2×1	0.77/5.1	эллипсоидальная

Pallas (представитель подрода *Albiflora* Salm-Dyck) семена эллипсоидальной формы, длиной 9–10 мм, шириной 5–6 мм, темно-коричневого цвета, гладкие, блестящие, с боков наблюдаются неглубокие впадины. В районе семенного рубчика заметен маленький гребешок. Семенной рубчик длиной 2 мм (рис. 3). У *P. suffruticosa* Andrews (представитель подрода *Moutan de Candolle*, секции *Moutan* DC.) семена эллипсоидальной формы, длиной 11–12 мм, шириной 7–8 мм, черного цвета с матовым блеском. Поверхность семян гладкая, с боков видны впадины. Семенной рубчик продолговатой формы, длиной 2×1 мм (рис. 4).

Основной объем семени занимает эндосперм. Ткань эндосперма белая, плотная, вокруг полости желтоватая. В центральной его части находится полость, примыкающая к семядолям зародыша. Зародыш (длина у *P. suffruticosa* – 2,6 мм, у *P. lactiflora* – 1 мм), состоящий из двух листовидных семядолей, гипокотили и зародышевого корешка, расположен на микропилярном конце семени вблизи рубчика и окружен лизированными клетками [26, 27].

Доразвитие зародыша является необходимым условием появления у семян способности к прорастанию. Время, необходимое для завершения этого процесса, определяет длительность морфологического покоя. Доразвитие зародыша обычно протекает в набухших семенах [20]. Для прорастания семян видов рода *Paeonia* L. необходима двухэтапная стратификация с переменными температурами: гипокотиль и зародышевый корень развивается при более высоких поло-

жительных температурах, а эпикотиль – при низкой положительной температуре.

В природе недоразвитый зародыш является приспособительным признаком, препятствующим прорастанию семян вскоре после их осыпания. Это, в свою очередь, спасает растения от ухода в зиму недостаточно окрепшими на ранних стадиях развития и от гибели их в зимний период [25].

Еще одной причиной медленного прорастания семян видов рода *Paeonia* L. является глубокий физиологический покой эпикотили – точки роста побега. Это может быть связано с наличием в семенах пиона абсцизовой кислоты (АБК). По мнению авторов Jing Xin-Ming и Zheng Guang-Hua [28], покой семян эпикотили – это важный фактор, присущий в половом цикле, который ухудшает всхожесть семян пионов в природных популяциях.

Результаты биохимического анализа показали, что содержание гормона ГК увеличивалось, а содержание гормона АБК уменьшалось в семядолях в течение выхода эпикотили из покоя, а содержание эндогенных регуляторов роста чуть-чуть изменилось только в эндосперме. Семядоли – это ключевая часть, контролирующая покой эпикотили в семенах пиона. Таким образом, накопление АБК из-за своего ингибирующего действия на прорастание является важным фактором покоя семян.

Низкая ферментативная активность также является одной из причин медленного развития зародыша внутри семени и его прорастания [26].



Рис. 1. Соцветие *Paeonia lactiflora* – плейохазий
Fig. 1. Inflorescence *Paeonia lactiflora* - pleyohazy



Рис. 2. Цветок *Paeonia suffruticosa*
Fig. 2. Flower *Paeonia suffruticosa*

В пределах рода *Paeonia* L. есть виды, например, представитель степной флоры *P. tenuifolia* L., семена которого прорастают в первый год, но большинство видов пиона прорастают на следующий год. Здесь прослеживается определенная связь между скоростью прорастания семян и экологической нишей вида.

Семена *P. lactiflora* и *P. suffruticosa* высеивали 1 декабря 2014 г. У *P. lactiflora* появились корешки 10 марта 2015 г., а семена *P. suffruticosa* не проросли.

В проросших семенах *P. lactiflora* был обнаружен фермент пероксидаза, который играет важную роль в процессе дыхания рас-



Рис.3. Семена *Paeonia P.lactiflora*
Fig. 3. Seeds of *Paeonia P.lactiflora*



Рис.4. Семена *Paeonia P.suffruticosa*
Fig. 4. Seeds of *Paeonia P.suffruticosa*

тений. Пероксидаза относится к классу оксидоредуктаз, представляя группу оксидаз. Она участвует в дыхательном цикле и катализирует реакции переноса водорода на кислород воздуха. В экстремальных условиях у растений активизируется дыхание и повышается активность пероксидазы. По активации пероксидазы можно оценить степень влияния фактора и состояние растений. Окисление тех или иных соединений пероксидаза осуществляет с помощью перекиси водорода.

Активность пероксидазы у *P. lactiflora* составляет 53 % (диагр.). У *P. suffruticosa*, реакция была отрицательной, т. к. семена не проросли. Т. о., фермент пероксидазу можно обнаружить только в проросших семенах пионов. У *P. lactiflora* активность пероксидазы достаточно высокая, следовательно, этот фермент положительно влияет на дальнейшее развитие зародыша.

На наш взгляд, медленное прорастание семян пионов также зависит и от лигнина – природного полимера, который содержится в семенной кожуре и снижает проницаемость растительных клеток для воды.

Лигнины в виде полимерных веществ присутствуют в клеточных стенках почти всех наземных растений и по своему распространению занимают среди природных высокомолекулярных соединений второе место [29].

Так, например, массовая доля лигнина в древесине хвойных пород составляет в среднем 27–30 %, а в древесине лиственных пород – 18–24 % [30]. Он снижает проницаемость клеточных стенок в проводящих тканях ксилемы и тем самым играет важную роль в переносе воды, питательных веществ и продуктов метаболизма. Кроме того, лигнин придает жесткость клеточным стенкам и в древесных растениях действует как межклеточное связующее вещество, придавая стволам и стеблям устойчивость к ударам, сжатию, изгибу. Лигнификация делает древесную ткань более стойкой к воздействию микроорганизмов [29].

В отличие от целлюлозы и других полисахаридов, выделенный из древесины лигнин не является индивидуальным веществом, а представляет собой смесь ароматических полимеров родственного строения [30].

Определив лигнин у проросших и непроросших семян *P. lactiflora*, а также у непроросших семян *P. suffruticosa*, мы получили следующие результаты: проросшие семена *P. lactiflora* – 52 %; непроросшие семена *P. lactiflora* – 52 %; непроросшие семена *P. suffruticosa* – 57 % (диагр.).

Относительное содержание лигнина после прорастания семени закономерно не изменяется вследствие того, что он является конечным метаболитом биосинтетических

процессов и остается неизменным в процессе прорастания семени, но его повышенное содержание в семенной кожуре древесных пионов снижает скорость их прорастания вследствие пониженной водонепроницаемости кожуры за счет большого содержания этого гидрофобного компонента.

Также был проведен биохимический анализ, определяющий содержание целлюлозы в семенной кожуре проросших и непроросших семян *P. lactiflora*.

Целлюлоза – наиболее распространенный в природе полисахарид, являющийся составной частью клеточных стенок всех высших растений. Кроме древесины, в большом количестве она содержится в семенных волосках хлопка (96...99 %), в лубяных волокнах льна, рами (80...90 %), соломе злаков и др. Свойства целлюлозы – физические, физико-химические и химические зависят как от химического строения целлюлозы, так и от ее физической структуры – формы макромолекул, межмолекулярного взаимодействия, надмолекулярной структуры и фазового и релаксационного (физического) состояний. Целлюлоза, будучи основным компонентом клеточных стенок, во многом определяет строение и свойства древесины [30, 31].

Проведя анализ по количественному определению целлюлозы в семенной кожуре пиона, мы получили следующие результаты: в непроросших семенах *P. lactiflora* – 24 %, в проросших семенах *P. lactiflora* – 26 % (диагр.).

Относительное увеличение целлюлозы в проросших семенах *P. lactiflora* объясняется снижением содержания резервных гемицеллюлоз, определяемых вместе с целлюлозой как трудно гидролизуемые полисахариды.

Заключение

Возможными причинами покоя семян видов рода *Paeonia* L. могут стать:

1. Недоразвитость зародыша – связано это с морфофизиологическим покоем. Прорастание семян, находящихся в морфофизиологическом покое, может начаться только после того, как в них закончится доразвитие зародыша. Этот процесс обычно протекает после отделения семени от материнского рас-

тения в условиях теплой, а затем и холодной стратификации.

2. Глубокий физиологический покой эпикотиля, вызванный содержанием абсцизовой кислоты. Семена, обладающие способностью переходить в состояние покоя, накапливают АБК. Поэтому переход в покой сопровождается увеличением АБК и уменьшением гиббереллинов и цитокининов.

3. Низкая ферментативная активность, замедляющая процесс развития зародыша внутри семени.

4. Высокое содержание лигнина в семенной кожуре, который препятствует проникновению воды к семени и как следствие – тормозит его прорастание.

Семена являются важнейшим, а зачастую и единственным средством размножения и расселения растений. Способность семян при созревании переходить в состояние покоя является важным приспособительным свойством, позволяющим растениям переживать неблагоприятные условия среды и обеспечивающим таким образом сохранение растительного генофонда на Земле.

Библиографический список

1. Кемулария-Натадзе, Л.М. К вопросу о положении семейства Раеониасеае в системе покрытосеменных растений / Л.М. Кемулария-Натадзе // Заметки по систематике и географии растений. – Тбилиси, 1958. – Вып. 20. – С. 19–28.
2. Тахтаджян, А.Л. Система и филогения цветковых растений / А.Л. Тахтаджян. – М.-Л.: Наука, 1966. – 610 с.
3. Кемулария-Натадзе, Л.М. Раналиевые на Кавказе и их таксономия / Л.М. Кемулария-Натадзе. – Тбилиси: Мецниереба, 1966. – 282 с.
4. Hong De-Yuan. Peonies of the world. Kew Publishing, 2010. – 312 p.
5. Успенская, М.С. Пионы / М.С. Успенская. – М.: ЗАО Фитон+, 2003. – 208 с.
6. Halda J., Waddick J. The Genus Paeonia, Cambridge. Timber Press Portland, 2004. – 227 p.
7. Горбунов, Ю. Пионы. Редкие и исчезающие растения на садовом участке / Ю. Горбунов // Новинки для сада и огорода. – 2005. – № 6. – С. 2–4.
8. Красная книга РСФСР (растения) / под общ. ред. А.Л. Тахтаджяна. – М., 1988. – 590 с.
9. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы) / Министерство природных ресурсов и экологии РФ; Федеральная служба по надзору в сфере природопользования; РАН; Российское ботаническое общество; МГУ им. М. В. Ломоносова; Гл. редкол.: Ю. П. Трутнев и др.; Сост. Р. В. Камелин и др. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. – 885 с.

10. Красная книга Монголии. – Улаанбаатар, 1987. – 317 с.
11. Красная книга Монголии. – Улаанбаатар, 1997. – 387 с.
12. Красная книга Читинской области и Агинского Бурятского автономного округа: растения. – Чита: Стиль, 2002. – 280 с.
13. Красная книга Хабаровского края: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и животных. – Хабаровск: Риотип, 2000. – 453 с.
14. Красная книга Приморского края: Растения. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов / Биолого-почвенный институт ДВО РАН. – Владивосток: АВК Апельсин, 2008. – 688 с.
15. Барыкина, Р.П. Жизненные формы у пионов и возможные пути их структурной эволюции / Р.П. Барыкина // Вестн. Моск. ун-та. Биол. – 1979. – № 2. – С. 14–26.
16. Zhi-Qin Zhou Taxonomy, geographic distribution and ecological habitats of tree peonies // Genetic Resources and Crop Evolution. – 2006. – V.53. – P.11 – 22.
17. Ермаков, А.И. Методы биохимического исследования растений / А.И. Ермаков. – Л.: Колос, 1972. – 457 с.
18. Кононов, Г.Н. Химия древесины и ее основных компонентов. Лабораторный практикум: учеб. пособие / Г.Н. Кононов. – М.: МГУЛ, 2005. – 138 с.
19. Николаева, М.Г. Роль температуры и фитогормонов в нарушении покоя семян / М.Г. Николаева. – Л.: Наука, 1981. – 160 с.
20. Николаева, М.Г. Справочник по проращиванию покоящихся семян / М.Г. Николаева, М.В. Разумова, В.Н. Гладкова. – Л.: Наука, 1985. – 348 с.
21. Николаева, М.Г. Долговременное хранение семян дикорастущих видов растений. Биологические свойства семян / М.Г. Николаева, В.Л. Тихонова, Т.В. Далецкая. – Пушкино, 1992. – 37 с.
22. Грушвицкий, И.В. Роль недоразвития зародыша в эволюции цветковых растений / И.В. Грушвицкий; Комаровские чтения XIV. – М.-Л.: Издательство академии наук СССР, 1961. – 47 с.
23. Грушвицкий, И.В. К методике изучения семян с недоразвитым зародышем / И.В. Грушвицкий. – 1968. – Т. 23. – Вып. 3. – С. 169–181.
24. Цингер, Н.В. О причинах медленного прорастания семян пионов/ Н.В. Цингер // Тр. ГБС. – М.: АН СССР, 1951. – Т. 2. – С. 101–125.
25. Буглова, Л.В. Биологические особенности семян некоторых видов *Trollius L.* и *Paeonia L.* / Л.В. Буглова, О.В. Кузнецова, Я.Г. Некрашевич // Ученые записки Забайкальского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2011. – Вып. 1. – С. 151–157.
26. Иванова, И.А. Биология прорастания семян с недоразвитым зародышем / И.А. Иванова // Вопросы биологии семенного размножения. (Уч. записки). – Ульяновск, 1968. – Т. 23 – Вып. 3. – С. 182–187.
27. Игнатъева, И.П. Онтогенетический морфогенез вегетативных органов пиона уклоняющегося (*Paeonia anomala L.*) / И.П. Игнатъева // Изв. ТСХА. – 1995. – Вып. 4. – С. 108–134.
28. JING Xin-Ming and ZHENG Guang-Hua. The Characteristics and Dormancy of Four Wild Species of Tree Peonies and Their Bearing on Endangerment. *Acta Phytophysiological Sinica*, 1999. – 25 (3), – P. 214 – 221.
29. Лигнины / Под ред. К.В. Сарканена, К.Х. Людвиг. Перевод с англ. А.В. Оболенской, Г.С. Чиркина, В.П. Щеголева под ред. проф., д-ра хим. наук В.М. Никитина, К.В. Сарканен, К.Х. Людвиг, Г.В. Хергерт и др. – М.: Лесная пром-сть, 1975. – 632 с.
30. Азаров, В.И. Химия древесины и синтетических полимеров: учебник для вузов / В.И. Азаров, А.В. Бузов, А.В. Оболенская. – СПб.: СПбЛТА, 1999. – 628 с.
31. Никитин, В.М. Химия древесины и целлюлозы / В.М. Никитин, А.В. Оболенская, В.П. Щеголев. – М.: Лесная пром-сть, 1978. – 368 с.

THE REASONS SEED DORMANCY OF THE SPECIES OF THE GENUS *PAEONIA L.*

Rudaya O.A., technician-engineer BSMGU ⁽¹⁾; Cherednichenko O.V., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Biol.)⁽²⁾; Efimov S.V., BSMGU, Ph.D. (Biol.) ⁽¹⁾; Kononov G.N., Assoc. Prof. MSFU, Ph.D. (Tech.)⁽²⁾

usuri85@mail.ru, tchernychenko@mgul.acl.ru, efimov-msu@yandex.ru, caf-chem@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ Botanical garden of Biological faculty Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, Lenin Hills, 1/12

⁽²⁾ Moscow State Forest University (MSFU) 1st. Institutskaya, 1, 141005, Mytischki, Moskow reg., Russia

Conservation of biological diversity for future generations still remains one of the most acute problems of our time. Planet's vegetable resources are considerably reducing, and rare and vulnerable species in nature are particularly susceptible to this process. First of all, it is related to human activities that adversely affect natural ecosystems. The genus Peony (*Paeonia L.*) is such a vulnerable genus, many species of which are endangered. The problem is compounded by the fact that the seed production of peonies is very low (seeds germinate 10 – 16 months). In this connection there is need to study reproductive biology, including the causes of seed dormancy. The seeds of *P. lactiflora* and *P. suffruticosa* are the objects of study. The article presents the data on the biochemical quantitative analysis of the content of peroxidase, lignin and cellulose in the seeds of some species of the genus *Paeonia L.* Peroxidase activity was identified as described by A. Boyarkina. The method is based on measuring the time during which the test solution reaches a certain optical density. Lignin was identified by the method of Popov, which consisted in the treatment of the peony seed coat by the solution of zinc chloride in hydrochloric acid. Cellulose was identified by the method of Hofer and Kyurshnera (nitrogen-alcohol method) based on the treatment of the seed coat by alcoholic (ethanolic) solution of nitric acid. There are several causes of seed dormancy of the genus *Paeonia L.*, such as the underdevelopment of the embryo which is one of the reasons for the slow seed germination. Slow germination of seeds of the genus *Paeonia L.* depends on deep physiological rest of epicotyl – the growth point of offshoot. This may be due to the presence of abscisic acid (ABA) in peony seeds. Low enzyme activity also affects the development of the embryo within the seed and its germination. Slow germination of seeds of peonies can depend on lignin – a natural polymer, which is contained in the seed coat and reduces the permeability of water in plant cells.

Key words: species of the genus *Paeonia L.*, seed dormancy, underdevelopment of the embryo, abscisic acid (ABA), peroxidase, lignine, cellulose.

References

1. Kemulariya-Natadze L. M. *K voprosu o polozhenii semeystva Paeoniaceae v sisteme pokrytosemennykh rastenii* [To a question on the situation in the family Paeoniaceae angiosperms] *Zametki po sistematike i geografii rasteniy* [Notes on taxonomy and plant geography]. Tbilisi, 1958, release 20, pp. 19-28.
2. Takhtadzhyan A.L. *Sistema i filogeniya tsvetkovykh rasteniy* [System and phylogeny of flowering plants]. Moscow-St. Petersburg, Nauka, 1966. 610 p.
3. Kemulariya-Natadze L.M. *Ranalievye na Kavkaze i ikh taksonomiya* [Ranalievye in the Caucasus and their taxonomy] *Tbil. botan in-t* [Tbil. bot Inst.]. Tbilisi, Metsniereba, 1966. 282 p.
4. Hong De-Yuan. *Peonies of the world*. Kew Publishing, 2010. 312 p.
5. Uspenskaya M.S. *Piony* [Peonies]. Moscow, ZAO Fiton+, 2003. 208 p.
6. Halda J., Waddick J. *The Genus Paeonia*, Cambridge. Timber Press Portland, 2004. 227 p.
7. Gorbunov Yu. *Piony. Redkie i ischezayushchie rasteniya na sadovom uchastke* [Peonies. Plants in the garden of rare and endangered]. *Novinki dlya sada i ogoroda* [Novelties for the garden], 2005, no 6, pp. 2-4.
8. *Krasnaya kniga RSFSR (rasteniya)* [The Red Book of the RSFSR (plants)]. Moscow, 1988. 590 p.
9. *Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii (rasteniya i griby)* [The Red Book of the Russian Federation (plants and fungi)] *Ministerstvo prirodnikh resursov i ekologii RF; Federal'naya sluzhba po nadzoru v sfere prirodopol'zovaniya; RAN; Rossiyskoe botanicheskoe obshchestvo; MGU im. M. V. Lomonosova* [Ministry of Natural Resources and Environment; The Federal Service for Supervision of Natural Resources; Russian Academy of Sciences; Russian Botanical Society; MSU. M.V. Lomonosov Moscow State University]. Moscow, *Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK*, 2008. 885 p.
10. *Krasnaya kniga Mongolii* [Red Data Book of Mongolia]. Ulaanbaatar, 1987. 317 p.
11. *Krasnaya kniga Mongolii*. [Red Data Book of Mongolia]. Ulaanbaatar, 1997. 387 p.
12. *Krasnaya kniga Chitinskoy oblasti i Aginskogo Buryatskogo avtonomnogo okruga: rasteniya* [The Red Book of the Chita Region and the Agin-Buryat Autonomous Okrug: plants]. Chita, Stil, 2002. 280 p.
13. *Krasnaya kniga Khabarovskogo kraja: redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy rasteniy i zivotnykh* [Red Data Book of the Khabarovsk Territory: rare and endangered species of plants and animals]. Khabarovsk, Riotip, 2000. 453 p.
14. *Krasnaya kniga Primorskogo kraja: Rasteniya. Redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy rasteniy i gribov* [The Red Book of Primorsky Krai: Plants. Rare and endangered species of plants and fungi]. *Biologo-pochvennyy institut DVO RAN* [Biology and Soil Science FEB RAS]. Vladivostok, AVK Apel'sin, 2008. 688 p.
15. Barykina R.P. *Zhiznennyye formy u pionov i vozmozhnyye puti ikh strukturnoy evolyutsii* [Life forms have peonies and possible structural evolution]. *Bulletin of Moscow University. Biology*, 1979. N. 2. pp. 14-26.
16. Zhi-Qin Zhou *Taxonomy, geographic distribution and ecological habitats of tree peonies*. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2006, V.53, pp. 11-22.
17. Ermakov A.I. *Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy* [Methods of biochemical research plant]. Leningrad, Kolos, 1972. 457 p.
18. Kononov G.N. *Khimiya drevesiny i ee osnovnykh komponentov*. [Wood Chemistry and its main components]. *Laboratornyy praktikum* [Laboratory practice]. Moscow, MSFU, 2005. 138 p.
19. Nikolaeva M.G. *Rol' temperatury i fitogormonov v naruzhenii pokoya semyan* [The role of temperature and phytohormone in violation of dormancy]. Leningrad, Nauka, 1981. 160 p.
20. Nikolaeva M.G., Razumova M.V., Gladkova V.N. *Spravochnik po prorashchivaniyu pokoyashchikhsya semyan* [Reference germination of dormant seeds]. Leningrad, Nauka, 1985. 348 p.
21. Nikolaeva M.G., Tikhonova V.L., Daletskaya T.V. *Dolgovremennoe khranenie semyan dikorastushchikh vidov rasteniy. Biologicheskie svoystva semyan* [Long-term storage of seeds of wild plant species. Biological properties of seeds]. Pushchino, 1992. 37 p.
22. Grushvitskiy I.V. *Rol' nedorazvitiya zarodysha v evolyutsii tsvetkovykh rasteniy* [The role of the underdevelopment of the embryo in the evolution of flowering plants] *Komarovskie chteniya XIV* [Komorowski read XIV]. Moscow-Leningrad: Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1961. 47 p.
23. Grushvitskiy I.V. *K metodike izucheniya semyan s nedorazvitym zarodyshem* [By the method of studying seeds with underdeveloped fetus]. 1968, T. 23. Vol. 3, pp. 169-181.
24. Tsinger N.V. *O prichinakh medlennogo prorastaniya semyan pionov* [The reasons for the slow seed germination pions]. *Tr. GBS. Moscow, USSR Academy of Sciences*, 1951, T. 2, pp. 101-125
25. Buglova L.V., Kuznetsova O.V., Nekrashevich Ya.G. *Biologicheskie osobennosti semyan nekotorykh vidov Trollius L. i Paeonia L.* [Biological features of the seeds of some species Trollius L. i Paeonia L.] *Uchenye zapiski Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennyye nauki* [Scientists notes the Trans-Baikal State University. Series: Science], 2011. Iss. 1. pp. 151-157.
26. Ivanova I.A. *Biologiya prorastaniya semyan s nedorazvitym zarodyshem* [Biology seed germination with underdeveloped fetus]. *Voprosy biologii semennogo razmnozheniya. (Uch. zapiski)* [Questions seed breeding biology. (Ouch. Note)]. Ulyanovsk, 1968, T. 23, Iss. 3, pp. 182-187.
27. Ignat'eva I.P. *Ontogeneticheskiy morfogenez vegetativnykh organov pionia uklonyayushchegosya (Paeonia anomala L.)* [Ontogenetic morphogenesis vegetative organs peony (Paeonia anomala L.)]. *Izv. TSKhA* [Math. TAA], 1995. Vol. 4. pp. 108-134.
28. JING Xin-Ming and ZHENG Guang-Hua. *The Characteristics and Dormancy of Four Wild Species of Tree Peonies and Their Bearing on Endangerment*. *Acta Phytobiologica Sinica*, 1999, 25 (3), pp. 214-221.
29. *Ligniny* [Lignans]. Moscow: Forest Industry, 1975. 632 p.
30. Azarov V.I., Burov A.V., Obolenskaya A.V. *Khimiya drevesiny i sinteticheskikh polimerov: uchebnik dlya vuzov* [Wood Chemistry and synthetic polymers: a textbook for high schools]. St. Petersburg: SPbLTA, 1999. 628 p.
31. Nikitin V.M., Obolenskaya A.V., Shchegolev V.P. *Khimiya drevesiny i tsellyulozy* [Chemistry of wood and cellulose]. Moscow: *Lesnaya promyshlennost'*, 1978. 368 p.

УДК 546.47

ИНТЕНСИВНОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОРГАНАХ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*BETULA PENDULA* *ROTH.*) В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Р.Х. ГИНИЯТУЛЛИН, *ст. науч. сотрудник. ФГБУН УИБ РАН, канд. биол. наук*⁽¹⁾,
А.Х. ИБРАГИМОВА, *ФГБОУ ВО «БГПУ им. М.Акмиллы»*⁽²⁾

grafak2012@yandex.ru, alfiya-tab@mail.ru

⁽¹⁾ ФГБУН Институт биологии Уфимского научного центра РАН, 450054 Уфа, Пр.Октября, 69

⁽²⁾ ФГБОУ ВПО Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмиллы, 450000 ул. Октябрьской революции, 3а

Представлены материалы по распределению металлов в органах березы повислой в условиях полиметаллического загрязнения Стерлитамакского промышленного центра (СПЦ) и в зоне условного контроля (ЗУК). Целью работы является изучение накопления и распределения металлов в листьях, ветвях, корнях березы повислой, а также в почве. Объектом исследований были березовые насаждения, расположенные на различном удалении от промышленных предприятий г. Стерлитамака. Проведена оценка относительного жизненного состояния березы повислой в условиях загрязнения СПЦ и в ЗУК. В результате проведенных исследований по определению содержания металлов выявлено, что в условиях промышленного центра у березы наблюдается барьерная функция корней по отношению к соединениям металлов, что способствует сокращению в надземных органах неврежденных концентраций химических элементов.

Ключевые слова: *Betula pendula Roth.*, промышленный центр, тяжелые металлы (ТМ), всасывающие корни, коэффициент биологического поглощения.

Значительное увеличение содержания металлов в условиях промышленного центра сопровождается их накоплением в растениях, что оказывает негативное влияние на рост и развитие

Одной из актуальных экологических проблем Стерлитамакского промышленного центра является загрязнение окружающей среды выбросами промышленных предприятий.

Цель исследования – изучение накопления и распределения тяжелых металлов в листьях, ветвях и в корнях березы повислой.

Основные задачи.

1. Оценка относительного жизненного состояния березы повислой в условиях промышленного загрязнения и в зоне условного контроля.

2. Определение содержания тяжелых металлов в почве, корнях, ветвях, листьях березовых насаждений в условиях загрязнения СПЦ и в ЗУК.

3. Вычисление коэффициентов биологического поглощения (КБП) и биологического накопления (КБН) и коэффициента перехода (Кп).

Коэффициенты биологического поглощения КБП и биологического накопления

тяжелых металлов всасывающих, полупроводящих, проводящих корнях березы повислой и коэффициент перехода металлов из корней в надземную березы в условиях загрязнения и в зоне условного контроля до настоящего времени мало изучены.

Загрязнение почвы и атмосферы металлами ведет к повышению их содержания во всех органах березы повислой. В условиях загрязнения СПЦ и в ЗУК у березы повислой наблюдается барьерная функция корней по отношению к соединениям Cu, Cd, Pb, Ni, о чем свидетельствуют рассчитанные коэффициенты КБН и Кп. Полученные в ходе обследования результаты позволяют предположить, что береза повислая в условиях загрязнения СПЦ способна активно поглощать металлы не только из почвы, но и из атмосферного воздуха.

Материалы и методика

Исследования проводились в березовых насаждениях, расположенных на различном удалении от промышленных предприятий г. Стерлитамака и в зоне условного контроля.

Объектами исследования были деревья березы повислой в возрасте 45–50 лет.

Исследования проведены в условиях Стерлитамакского промышленного центра и в зоне условного контроля. Пробная площадь (ПП) № 1 размером 18×50 м представлена культурами березы повислой и расположена в 1,5 км от источника загрязнения, ПП № 2 размером 16×50 м расположена в 25–30 км от источника загрязнения (ЗУК).

Для изучения содержания металлов в условиях СПЦ и в ЗУК произведен многократный повторный отбор листьев, ветвей, корней и почвы для определения содержания металлов. Отбор проб почвы и растений для определения загрязнений промышленного происхождения произведен в течение вегетационного сезона. Пробы отбирались вблизи промышленного центра на расстоянии 1–30 км.

Пробы листьев, ветвей, корней отбирались на тех же пробных площадках, что и пробы почвы.

Исследование корневых систем березы повислой в условиях СПЦ и ЗУК проводилось методом монолитов.

Траншеи (почвенные разрезы) на пробных площадках закладывались перпендикулярно направлению роста горизонтальных корней на расстоянии 70 см от ствола. Расположение траншеи по сторонам горизонта произвольное. Все почвенные разрезы имели одинаковые размеры 1×1 м. Почвенные монолиты размером 21×25 см, толщиной 2 мм вырезались стальными ножами – корнерезами.

Листья и ветви отбирались с 15 деревьев на каждой пробной площади из верхней, средней, нижней части кроны со стороны источника загрязнения с помощью секатора на шесте. Взятые пробы высушивались до воздушно-сухого состояния на бумаге или шламовых мешках.

Содержание металлов в листьях, ветвях, корнях и почве определялось методом атомно-абсорбционного анализа (ААС-Zeenit-650).

Оценку жизненного состояния деревьев определяли по методике В.А. Алексеева.

При исследовании насаждений для каждого экземпляра березы повислой на пробной площадке оценивались: густота кроны, наличие на стволе мертвых сучьев, степень поражения листьев (хлорозы, некрозы и дру-

гие повреждения древостоев атмосферными загрязнениями).

Относительное жизненное состояние всего насаждения определялось по формуле

$$L_n = (100 n_1 + 70 n_2 + 40 n_3 + 5 n_4) / N, \quad (1)$$

где L_n – показатель ОЖС насаждения, вычисленный по количеству деревьев, %;

n_1 – количество здоровых деревьев, шт.;

$n_{2,3,4}$ – количество ослабленных, сильно ослабленных, сухих, шт.;

100, 70, 40, 5 – коэффициенты, выражающие в процентах состояние здоровых, ослабленных, сильно ослабленных и отмирающих деревьев;

N – общее количество деревьев, шт.

При показателе ОЖС 100–80 % насаждение характеризуется как здоровое, при 79–50 % – ослабленное, при 49–70 % – сильно ослабленное, при 19 % и ниже – полностью разрушенное.

Результаты и их обсуждение

Исследования по изучению относительного жизненного состояния березы повислой показали, что в условиях СПЦ и ЗУК состояние насаждения березы оценивается как здоровое (табл. 1).

В условиях СПЦ основными диагностическими признаками ухудшения жизненного состояния насаждений березы повислой является поражение листьев (хлорозы и некрозы 5–15 % площади листа). У березы развиваются межжилковые и краевые хлорозы и некрозы желтого, кофейного или коричневого цвета. Густота кроны составляет в среднем 80–85 %, наличие мертвых сучьев 5–15 %. Отмирающих деревьев нет.

Исследование особенностей распределения корневых систем березы повислой в условиях СПЦ и в зоне условного контроля показало, что в условиях загрязнения СПЦ происходит снижение корненасыщенности почвы. Корненасыщенность метрового слоя почвы в условиях СПЦ составляет 1412 г/м², а в зоне условного контроля – 1746 г/м².

В условиях загрязнения СПЦ повышение уровня тяжелых металлов приводит к существенной перестройке всасывающего корневого аппарата березы повислой. В слое

Относительное жизненное состояние насаждений березы повислой в условиях загрязнения СПЦ и в ЗУК
The relative life status of birch stands in terms of pollution and СПЦ in the ЗУК

Год посадки насаждений/ месторасп.	Средние показатели			Соотношение деревьев в насаждениях, %				Жизненное состояние насаждений	
	всего на ПП, шт.	диаметр, см	высота, м	здоровые	ослабленные	сильно ослабленные	сухие	Индекс ОЖС, %	Категория
1963 / СПЦ	30	22	24	22	6	2	0	90	здоровое
1963 / ЗУК	30	24	27,5	25	5	0	0	96,5	здоровое

Т а б л и ц а 2

Содержание металлов в почвах под насаждениями березы повислой в условиях Стерлитамакского промышленного центра
The metal content in soils under birch plantings under Sterlitamaksky industrial center

Глубина, см	СПЦ					ЗУК				
	Содержание, (мг/кг)					Содержание, (мг/кг)				
	Ni	Cu	Mn	Cd	Pb	Ni	Cu	Mn	Cd	Pb
0–10	126	299	1302	5,2	67,6	30	25	452	0,8	10,3
10–20	62	184	1040	6,1	51,4	41	23	492	0,5	9,2
20–30	45	161	1143	0,6	29,6	37	31	402	0,6	7,5
30–40	69	147	1006	0,4	29,3	50	38	632	0,09	7,9
40–50	52	535	1280	0,26	30,9	57	26	352	0,05	8,1
50–60	194	462	1523	0,05	31,1	53	24	522	0,59	1,3
60–70	134	362	1256	1,45	37,4	49	17	512	0,79	2,7
70–80	142	112	1061	1,7	33,02	44	15	602	0,69	5,9
80–90	40	156	1029	5,9	31,7	43	18	222	1,9	6,1
90–100	40	173	1031	7,3	30,2	41	26	220	2,84	10,9

от 0–20 см содержание Ni, Cu, Mn, Cd, Pb значительно выше, чем содержание металлов на глубине от 20–50 см (табл.2).

В условиях загрязнения СПЦ в слое почвы от 0–20 см содержание Ni – в 2 раза, Cu – 1,9 раза, Mn – 1,2 раза, Cd – 20 раз, Pb – 2,2 раза выше, чем в слое почвы от 30–50 см. Сравнивая содержание изученных металлов в слое почвы 0–20 см в условиях загрязнения СПЦ с зоной условного контроля следует отметить, что количество Ni, Cu, Mn, Cd, Pb в условиях промышленного загрязнения увеличилось в несколько раз.

Тяжелые металлы, поступая в почву, концентрируются в приповерхностном слое почвы 0–10 (20) см, где они присутствуют в форме обменных ионов, входят в состав гумусовых веществ, карбонатов, оксидов алюминия, железа и марганца [Хазиев и др., 2000].

Следует отметить, что в условиях загрязнения СПЦ миграция некоторых тяжелых металлов иногда идет до глубины 80–90 см.

Шеуджен (2003), отмечает, «что миграция Cd вниз по профилю более вероятна, чем его накопление в поверхностном горизонте почв, поэтому часто наблюдаемое обогащение Cd в поверхностном слое почв обычно возрастает».

Уровень концентрации Ni в верхнем слое почв зависит от почвообразующих процессов и техногенного загрязнения. Антропогенные источники Ni, в частности промышленная деятельность, приводят к существенному увеличению его содержания в почвах.

Концентрация Cu в верхнем слое почвы отражает ее биоаккумуляцию, а также современное антропогенное влияние.

Накопление Pb в поверхностном слое почв имеет огромное экологическое значение, потому что этот элемент сильно воздействует на биологическую активность почв.

Общее содержание Ni в почве под насаждениями березы повислой в условиях за-

грязнения СПЦ составляет 126 мг/кг, а в зоне условного контроля 30 мг/кг, т. е. превышает почти на 4,2 раза.

Такая же картина наблюдается с содержанием Cu, Mn, Cd, Pb. Повышенное количество чаще всего в верхнем горизонте 0–10 (20) см, а у некоторых металлов повышенное количество наблюдается на глубине 90–100 см (табл.2).

Корневая система является мощным барьером на пути транспорта тяжелых металлов в надземные органы растений. Определено поглощение и накопление тяжелых металлов в тонких корнях березы повислой диаметром до 1мм (всасывающие), 1–3 мм (полупроводящие), и более 3мм (проводящие). Изучение поглощения и накопления тяжелых металлов проведено во фракциях корней березы, произрастающих в условиях СПЦ и в зоне условного контроля. В условиях СПЦ высокие концентрации Ni, Cu, Cd, Pb в почвенном растворе усиливают накопление данных элементов во фракциях корней растений.

Во фракциях корней березы в условиях загрязнения СПЦ наибольшее количество меди, никеля, кадмия, накапливается во всасывающих корнях диаметром <1 мм и полупроводящих корнях диаметром 1–3 мм. Такая же картина наблюдается в зоне условного контроля. При сравнении данных с зоной условного контроля содержание Ni, Cu, Cd в корнях березы, растущих в условиях загрязнения СПЦ, различаются более чем в 2–8 раз.

Наибольшее содержание марганца в проводящих корнях 250 мг/кг, а во всасывающих и полупроводящих корнях меньше. В условиях СПЦ и в ЗУК содержание Mn во фракциях корней в ряду (по убыванию): 1 мм < 1–3 мм < 3 мм. Наибольшее количество Pb отмечено в полупроводящих корнях.

Для оценки эффективности поглощения и накопления металлов в условиях загрязнения СПЦ и в ЗУК были использованы: коэффициент биологического поглощения и коэффициент биологического накопления, представляющие собой частное от деления содержания металлов на его содержание в

корнеобитаемом слое почвы. КБП – это отношение содержания металла в золе растений к валовому содержанию его в почве. В условиях загрязнения СПЦ Ni, Cu, Cd, Pb являются элементами слабого поглощения и среднего захвата, они содержатся во всасывающих и полупроводящих корнях в избыточных концентрациях.

В условиях загрязнения СПЦ рассчитанные коэффициенты концентрации металлов имеют следующие значения:

КБП (Ni) = 0,71, КБП (Cu) = 0,15,

КБП (Cd) = 0,78, КБП (Pb) = 0,79 (табл.3).

В условиях загрязнения СПЦ и в ЗУК Mn, являясь элементом слабого поглощения и среднего захвата во фракциях корней березы повислой, не накапливается и его концентрации характеризуются как нормальные.

В условиях контроля по показателю

КБП (Cu) = 0,84, КБП (Cd) = (0,37),

КБП (Pb) = (0,6).

Согласно рядам биологического поглощения, разработанным А.И. Перельманом, они являются элементами слабого поглощения и среднего захвата и содержатся в концентрациях, не превышающих норму. В ЗУК в соответствии с величиной КБП Ni относится к группе элементов сильного поглощения. Оценивая величину коэффициента биологического поглощения, следует отметить, что в условиях загрязнения СПЦ наблюдается тенденция накопления Ni, Cd, Pb во фракциях корней березы повислой.

Оценкой количества металлов, перешедших из почвы в растения, является коэффициент накопления (Кн). Он рассчитывается как отношение содержания элемента в зоне растений к содержанию его подвижных форм в почве.

Ковалевский А.Я. предлагает ряды биологического накопления химических элементов разделить на следующие группы: весьма интенсивного поглощения КБН = 30–300; интенсивного поглощения КБН = 3–30; среднего поглощения КБН = 0,3–3; слабого поглощения КБН = 0,03–0,3 и весьма слабого поглощения КБН = 0,03.

Подсчет коэффициента биологического накопления металлов в условиях СПЦ

Коэффициенты биологического поглощения (КБП) и накопления (КБН) и концентрации металлов во фракциях корней березы повислой в различных условиях
Biological absorption coefficients (КБП) and accumulation (КБН) and metal concentrations
in the fractions of the roots of birch in various conditions

Место произрастания	Концентрации элементов и коэффициенты	Химические элементы				
		Ni	Cu	Mn	Cd	Pb
СПЦ	мг/кг золы	70	38	250	4,5	53
	КБП	0,71	0,15	0,14	0,78	0,79
	КБН	9,3	9,04	2,9	7,5	7,36
ЗУК	мг/кг золы	25	17	110	0,1	4
	КБП	1,16	0,84	0,55	0,37	0,6
	КБН	8,92	10	1,19	0,5	1,73

и ЗУК во фракциях корней березы показал, что разные металлы значительно отличаются между собой по интенсивности поглощения. В условиях загрязнения содержание Ni, Cu, Cd, Pb превышает норму. Показатель КБН свидетельствует об их накоплении во фракциях корней березы повислой. Так, наиболее интенсивное накопление происходит во фракциях корней березы:

КБН (Ni) = 9,30; КБН (Cu) = 9,04;
 КБН (Cd) = 7,5; КБН (Pb) = 7,36,
 КБН (Mn) = 2,90 (табл. 3).

Установлено, что в зоне условного контроля во фракциях корней низкие показатели КБН марганца, кадмия, свинца, а величина меди, наоборот, характеризуется очень высоким КБН (Cu) = 10). Рассчитанные коэффициенты накопления доказывают, что в условиях загрязнения СПЦ и незагрязненных почв (ЗУК) береза повислая в корнях накапливает никель, медь в высоких концентрациях. По показателю КБП (1,16), КБН (8,92) никель, согласно рядам биологического поглощения, разработанным А.И. Перельманом, в ЗУК является элементом сильного поглощения и накапливается во фракциях корней.

В ЗУК показатели КБП и КБН Mn, Cd, Pb низкие.

В условиях загрязнения СПЦ ряд биологического поглощения имеет следующий вид:

Pb(0,79) > Cd(0,78) > Ni(0,71) >
 > Cu(0,15) > Mn(0,14),

а ряд биологического накопления имеет несколько иной вид:

Ni(9,30) > Cu(9,04) > Cd(7,50) >
 > Pb(7,36) > Mn (2,90).

В результате проведенных исследований в условиях загрязнения СПЦ и в ЗУК выявлено, что в условиях СПЦ в корнях березы сильно поглощаются и накапливаются никель, медь, кадмий, свинец, а марганец достаточно слабо. В ЗУК сильно поглощаются никель, медь, марганец.

Для характеристики процессов перехода металлов из корней в надземную часть растений рассчитывали коэффициент перехода (Кп), равный отношению содержания металлов в надземной фитомассе к таковому в корнях

$$Кп = \frac{C_{\text{листья}}}{C_{\text{ветви}}} : \frac{C_{\text{корни}}}{C_{\text{корни}}} \quad (2)$$

$$Кп = \frac{C_{\text{ветви}}}{C_{\text{ветви}}} : \frac{C_{\text{корни}}}{C_{\text{корни}}} \quad (3)$$

где $C_{\text{листья}}$ – содержание металла в листьях,
 $C_{\text{ветви}}$ – содержание металла в ветвях,
 $C_{\text{корни}}$ – содержание металла в корнях.

При переходе от корня к ветвям, листьям наблюдается значительное понижение концентрации Ni, Cd. И резкое падение концентрации Pb с коэффициентом 0,14. Результаты проведенных исследований показали, что поступающие в корни Ni, Cd, Pb прочно фиксируются, не переходя полностью в надземную часть (табл.4), и что в листьях, ветвях березы повислой сильно поглощается Cu, Mn. Максимальный коэффициент имеет Mn (1,75).

Полученные данные позволяют предположить, что береза повислая в условиях СПЦ активно поглощает марганец и медь не из почвы, а из атмосферного воздуха. В зоне условного контроля основная часть Cu, Mn,

Коэффициенты перехода (Кп) металлов из корней в надземную часть растений в условиях загрязнения СПЦ и в ЗУК
Conversion factor (Kp) of metals from the roots to the aboveground part of the plant in terms of pollution and СПЦ in the ЗУК

Место произрастания	Органы растений	Концентрации элементов и коэффициенты	Химические элементы				
			Ni	Cu	Mn	Cd	Pb
СПЦ	листья	мг/кг золы	22	16,2	243	1,39	14,6
		Кп	0,4	0,44	1,75	0,24	0,14
	ветви	мг/кг	23	28	176	0,86	9,6
		Кп	0,44	0,57	1,04	0,25	0,26
ЗУК	листья	мг/кг	6,6	7	23,3	0,16	1,1
		Кп	0,2	0,51	0,25	0,29	0,18
	ветви	мг/кг	7	13	276	0,08	1,3
		Кп	0,23	0,7	0,17	0,31	0,25

Cd, Pb задерживалась в корнях березы, что указывает на существование барьерных механизмов, препятствующих их накоплению в ветвях и листьях.

При переходе от корней к листьям наблюдается снижение концентрации элементов: Ni, Cu, Mn, Cd, Pb. Коэффициенты соответственно: 0,20, 0,51, 0,25, 0,29, 0,18.

Заключение

Результаты проведенных исследований показали, что в условиях СПЦ максимальные количества Ni, Cu, Mn, Cd, Pb обнаруживаются в верхнем горизонте почв и в несколько раз превышают их содержание в ЗУК. В условиях СПЦ с ростом уровня загрязнения почвы тяжелыми металлами и под их влиянием происходит снижение всасывающих корней березы повислой.

Полученные результаты позволяют предположить, что в условиях СПЦ в слое почв 0–20 см, несмотря на снижение всасывающих и полускелетных корней, корни способны активно поглощать тяжелые металлы из почвы.

В условиях загрязнения СПЦ и в ЗУК барьерная функция березы повислой наблюдается по отношению к соединениям Ni, Cd, Pb, о чем свидетельствуют рассчитанные коэффициенты КБП, КБН и $K_{\text{п}}$.

Предполагается, что поступающие в корни тяжелые металлы могут прочно фиксироваться, не переходя полностью в

надземную часть растений, тем самым способствуя сокращению в надземных органах невредных концентраций химических элементов. В условиях СПЦ накопление Cu и Mn в надземных органах березы происходит не только из почвы, но и из атмосферы. Основное поглощение элементов идет за счет подвижных форм более доступных для корней, о чем свидетельствуют коэффициенты КБП и КБН. Наиболее активно в полупроводящих корнях накапливаются такие элементы, как Ni, Cd, Pb.

Библиографический список

1. Базель, В.С. Структура цепопуляций одуванчика и специфика накопления тяжелых металлов / В.С. Базель, Т.В. Жуйкова, В.Н. Позолотина // Экология. – 1998. – № 5. – С. 376–382.
2. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях: пер. с англ. / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 43 с.
3. Ковалевский, А.Я. Основные закономерности формирования химического состава растений / А.Я. Ковалевский // Биохимия растений Тр. Бурятского института естественных наук. – Улан-Удэ: Бурят.кн. изд-во, 1969. – С. 6–28.
4. Красильников, П.К. Методика полевого изучения подземных частей растений (с учетом специфики ресурсосведческих исследований) / П.К. Красильников. – М.: Наука, 1983. – 208 с.
5. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / В.А. Алексеева. – Л.: Наука, 1990. – 200 с.
6. Минкина, Т.М. Накопление тяжелых металлов в системе почва–растение в условиях загрязнения / Т.М. Минкина, М.В. Бурачевская, В.А. Чаплыгин и др. // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2011. – № 4(04). – С. 1–17.
7. Перельман, А.И. Геохимия / А.И. Перельман. – М.: Высшая школа, 1989. – 582 с.

8. Рахтеенко, И.Н. Комплексный метод исследования корневых систем растений / И.Н. Рахтеенко, Б.И. Якушев // Методы изучения продуктивности корневых систем и организмов ризосферы: Международный симпозиум. – Л.: Наука, 1968. – С. 174.
9. Серегин, И.В. Гистохимические методы изучения распределения кадмия и свинца в растениях / И.В. Серегин, В.Б. Иванов // Физиология растений. – 1997. – Т44. – № 6. – С. 915–921.
10. Хазиев, Ф.Х. Эко токсиканты в почвах Башкортостана / Ф.Х. Хазиев, Ф.Я. Багаутдинов, А.З. Сахабутдинова. – Уфа.: Гилем, 2000. – 62 с.
11. Шеуджен, А.Х. Биогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГУРИ ПП «Адыгея». 2003.– 1028 с.
12. Wierzbicka M. Lead accumulation and its translocation in roots of *Allium cepa* – autoradiographie and ultrastructural studies // Plant cell Environ. 1987 V.10. P.17-26.

**INTENSITY OF BIOLOGICAL ABSORPTION OF HEAVY METALS
IN BODIES OF A BIRCH (*BETULA PENDULA ROTH*, THE CONDITIONS OF INDUSTRIAL POLLUTION**

Giniatullin R.H., Institute of Biology Ufa Research Centre RAS, Ph.D. (Biol.)⁽¹⁾; **Ibragimova A.H.**, BSPU⁽²⁾

grafak2012@yandex.ru, alfiya-tab@mail.ru

⁽¹⁾Institute of Biology Ufa Research Centre RAS 450000, Ufa, prospect Oktyabrya, 69,

⁽²⁾Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla 450000 Ufa, October Revolution Street, Building 3a

Materials on distribution of metals in bodies of a birch in the conditions of poly metallic pollution of the Sterlitamak industrial center and in a zone of conditional control are presented. The purpose of this work was definition of the content of metals in leaves, branches, birch roots, as well as in the soil. The relative vital condition of a birch in the conditions of pollution of the Sterlitamak industrial center and in a zone conditional control are presented. It is as a result revealed that in the conditions of the industrial center, at a birch it is observed barrier function of roots on the relation to compounds of metals, the rebuy reduction is promoted in elevated bodies harmless by concentration of chemical elements.

Keywords: *Betula pendula* absorbing roots industrial center, heavy metals, biological absorption coefficient.

References

1. Bazel' V.S., Zhuykova T.V., Pozolotina V.N. *Struktura tsepopopulyatsiy oduvanchika i spetsifika nakopleniya tyazhelykh metallov* [Structure of apopopoulay of a dandelion and specifics of accumulation of heavy metals]. Ecology. 1998, № 5. pp. 376-382.
2. Kabata-Pendias A., Pendias Kh. *Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh* [Microcells in soils and plants]. The translation with English. Moscow: Mir [World], 1989, 43 p.
3. Kovalevskiy A.Ya. *Osnovnye zakonomernosti formirovaniya khimicheskogo sostava rasteniy* [Main regularities of formation of a chemical composition of plants]. Biochemistry of plants works Buryat institute of natural Sciences. Ulan-Ude: Buryat. book publishing house, 1969. pp. 6-28.
4. Krasil'nikov P.K. *Metodika polevogo izucheniya podzemnykh chastey rasteniy (s uchetom spetsifiki resursovedcheskikh issledovaniy)* [Metodik of field studying of underground parts of plants (taking into account specifics the resursoemkih research)]. Leningrad: Science, 1983. 208 p.
5. *Lesnye ekosistemy i atmosfernoye zagryaznenie* [Forest ecosystems and atmospheric pollution] Leningrad: Science, 1990. 200 p.
6. Minkina T.M., Burachevskaya M.V., Chaplygin V.A., Bakoev S.Yu., Atonenko E.M., Belogorskaya S.S. *Nakoplenie tyazhelykh metallov v sisteme pochva-rastenie v usloviyakh zagryazneniya* [Accumulation of heavy metals in system the soil plant in the conditions of pollution]. The Scientific magazine of the Russian scientific research institute of problems of a melioration. № 4 (04). 2011. p. 1-17.
7. Perel'man A.I. *Geokhimiya* [Georhimiya]. Moscow: The higher school. 1989. 582 p.
8. Rakhteenko I.N., Yakushev B.I. *Kompleksnyy metod issledovaniya kornevyykh sistem rasteniy* [Complex method of research of root systems of plants]. Methods of studying of efficiency of root systems and organisms rizofer: International symposium. Leningrad: Science. 1968. p. 174.
9. Seregin I.V., Ivanov V.B. *Gistokhimicheskie metody izucheniya raspredeleniya kadmiya i svintsya v rasteniyakh* [Histochemical methods of studying of distribution of cadmium and lead in plants]. Physiology of plants, 1997. V. 44. N. 6. pp. 915-921.
10. Khaziev F.Kh., Bagautdinov F.Ya., Sakhautdinova A.Z. *Eko toksikanty v pochvakh Bashkortostana* [Ekotoxicants in soils of Bashkortostan]. Ufa, 2000, 62 p.
11. Sheudzhen A.Kh. *Biogeokhimiya* [Biochemistry]. Maikop: Adygeya. 2003. 1028 p.
12. Wierzbicka M. Lead accumulation and its translocation in roots of *Allium cepa* – autoradiographie and ultrastructural studies // Plant cell Environ. 1987 V.10.P.17-26.

УДК 631.811; 631.417.1

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОЛИЗАТОВ В КАЧЕСТВЕ ПРЕПАРАТОВ-СТИМУЛЯТОРОВ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Г.Н. ФЕДОТОВ, *ст. научн. сотр. Института экологического почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, д-р биол. наук*⁽¹⁾,

М.Ф. ФЕДОТОВА, *научный сотрудник НИЧ МГУЛ*⁽²⁾,

В.С. ШАЛАЕВ, *директор Института системных исследований леса МГУЛ, д-р техн. наук*⁽²⁾,

Ю.П. БАТЫРЕВ, *доц. каф. УТС МГУЛ, канд. техн. наук*⁽²⁾

gennadiy.fedotov@gmail.com, shalaev@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова»
119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, Институт экологического почвоведения, МГУ

⁽²⁾ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1

Предпосевная обработка семян при помощи физических воздействий или биологически активными препаратами является одним из самых дешевых приемов повышения посевных качеств семян и, как следствие, урожайности растений. При этом для ускорения процесса необходимо повышение концентраций определенного комплекса веществ, участвующих в биохимических реакциях процесса прорастания семян. Подобный комплекс веществ образуется при автолизе микроорганизмов, поэтому целью работы была оценка эффективности применения автолизатов в качестве препаратов-стимуляторов прорастания семян.

В работе в качестве объектов исследования использовали семена с неглубоким покоем – яровых пшениц сортов «Эстер», «Злата», «Любава», «Новосибирская 29», «МИС», «Юбилейная 80», «Оренбургская 10», озимых пшениц сортов «Галина», «Немчиновская 24», «Московская 39», «Московская 56», «Л-15 № 222» – Экспериментальная, озимой ржи сорта «Валдай», озимых тритикале сортов «Гермес» и «Немчиновский 56», ярового ячменя сорта «Владимир».

По итогам экспериментальных исследований получены следующие результаты:

- при проращивании семян в контакте с раствором, содержащим автолизат, наблюдается угнетение прорастания семян при общем росте выделения углекислоты;
- при обработке семян полусухим способом раствором, содержащим автолизат, наблюдается заметная активизация прорастания семян;
- обнаружение влияния способа обработки семян на эффективность обработки уточняет методику, по которой надо проводить испытания эффективности препаратов-стимуляторов прорастания семян;
- проведенная на ряде зерновых культур проверка эффективности использования автолизата дрожжей «*Saccharomyces cerevisiae*» показала преимущество использования автолизата по сравнению с используемыми в сельскохозяйственном производстве препаратами-стимуляторами.

Ключевые слова: предпосевная обработка семян, автолизат, урожайность, концентрация углекислого газа, стимуляция.

Предпосевная обработка семян при помощи физических воздействий или биологически активными препаратами (БАП) является одним из самых дешевых приемов повышения посевных качеств семян и, как следствие, урожайности растений.

Кажущаяся простота и дешевизна получения результатов подобным способом привлекала многих исследователей, но добиться значимого и воспроизводимого результата до настоящего времени не удалось.

Одной из основных причин неудач разработки препаратов для стимуляции прорастания семян, по-видимому, является отсутствие высокопроизводительной и достаточно простой методики, позволяющей получать

статистически значимые результаты. Связано это с достаточно небольшим влиянием стимулирующих воздействий на прорастание семян, величина которых редко превышает 10–15 % [10], и при значительной ошибке метода эффект стимуляции такой величины обнаружить практически невозможно.

В результате в течение длительного времени при проведении исследований оценку проводили по конечному результату – урожайности [1, 3–6, 8, 12–15, 21, 25, 26, 28, 32], изменению размеров и массы вегетативных органов растений [1, 4, 6, 7, 15, 18, 19, 21, 25, 28–30, 32], по всхожести (энергии прорастания) [1, 2, 6, 11, 15, 20, 26, 27, 29] или по физиологическим показателям (активности фер-

ментов, содержанию биологически активных веществ и т. д.) [4, 6, 11, 12, 18, 19, 25–29]. Однако все эти исследования достаточно трудоемки и длительны и требуют от недели (по всхожести) до месяцев (по урожайности) временных затрат.

При этом в ряде публикаций [9, 17, 22, 23] отмечалось, что посевные качества семян должны коррелировать со скоростью биохимических процессов на стадии прорастания семян и соответственно с дыханием семян при прорастании.

Это направление получило развитие в ряде работ [23, 24], в которых приводится использование достаточно простой и высокопроизводительной методики, позволяющей по дыханию семян оценивать их качество и проверять эффективность использования стимуляторов прорастания семян с ошибкой, не превышающей 5 %.

В результате этих исследований получен достаточно большой объем данных [24] – изучен ряд физиологически активных веществ и их смесей и был сделан вывод о том, что использование отдельных компонентов биохимических реакций с целью поиска триггера стимуляции прорастания семян может быть бесперспективным, так как для ускорения процесса необходимо повышение концентраций всего комплекса веществ, участвующих в биохимических реакциях процесса прорастания семян.

Подобный комплекс веществ образуется при автолизе микроорганизмов, поэтому целью работы была оценка эффективности применения автолизатов в качестве препаратов-стимуляторов прорастания семян.

Материалы и методы исследования

В работе в качестве объектов исследования использовали семена с неглубоким покоем [16] – яровых пшениц сортов «Эстер», «Злата», «Любава», «Новосибирская 29», «МИС», «Юбилейная 80», «Оренбургская 10», озимых пшениц сортов «Галина», «Немчиновская 24», «Московская 39», «Московская 56», «Л-15 № 222» – экспериментальный образец озимой пшеницы ФГБНУ ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова (Эксперименталь-

ная), озимой ржи сорта «Валдай», озимых тритикале сортов «Гермес» и «Немчиновский 56», ярового ячменя сорта «Владимир».

Предпосевную обработку семян проводили полусухим способом на модели промышленно применяемого протравителя семян при расходе раствора 20 л/т семян.

Изучали действие автолизата дрожжей «*Saccharomyces cerevisiae*» – Vacto™ Yeast Extract (автолизат), а также ряда известных препаратов-стимуляторов («Альбит», «Фертигрейн старт»).

Эффективность обработки определяли по интенсивности выделения углекислоты [23, 24] при контакте семян с водой. Эксперименты проводили помещая 5 г семян в 2 стаканчика объемом 100 мл, засыпая их 20 г отмытого сухого песка, добавляя 5 г воды (растворов). После этого стаканчики с семенами ставили в емкость объемом 3 л, которую герметично закрывали. Емкости термостатировали при температуре 25°C. Через 24 часа проводили измерение концентрации углекислоты в емкостях и пересчитывали количество углекислоты, выделившейся на одну зерновку. Опыты проводили в 7-кратной повторности. Ошибка не превышала 5 %.

Биологическую активность применяемой дозы препарата оценивали, вводя автолизат в раствор, с которым контактировали необработанные семена.

Измерение концентрации углекислоты проводили при помощи прибора «Testo 535», который позволяет определять концентрацию углекислого газа в газовой смеси при содержании 0-9999 ppm.

Результаты и обсуждение

На первом этапе было изучено влияние концентрации автолизата в растворе на прорастание семян, которое проводили на озимой пшенице «Экспериментальная». Выбор этой пшеницы был обусловлен тем, что ее семена были самыми чувствительными к стимуляции [24]. Полученные результаты (рис. 1) свидетельствуют, что при достижении концентрации автолизата в растворе 1500 мг/л стимуляция прорастания семян выходит на насыщение.

При изучении влияния концентрации автолизата в растворе 1500 мг/л на прорастание семян других культур было установлено, что при повышении качества семян эффект стимуляции уменьшается (рис. 2). Причем, эта зависимость описывается отрицательной экспонентой с коэффициентом корреляции более 0,94.

Из физического смысла отрицательной экспоненциальной зависимости следует, что эффект стимуляции уменьшается прямо пропорционально качеству семян – количеству углекислоты, выделяемой при прорастании необработанных семян разных культур. То есть абсолютное количество углекислоты, выделяемой на единицу веса семян любой культуры, остается примерно постоянной. Исключением являются две наиболее чувствительных к стимуляции культуры – озимые пшеницы сортов «Галина» и «Экспериментальная», для них количество выделяемой углекислоты заметно выше.

Анализ полученных данных позволяет предположить, что увеличение выделения углекислоты может быть связано не с влиянием раствора автолизата на стимуляцию прорас-

тания семян, а с чем-то другим, что практически для всех изученных семян под влиянием раствора автолизата выделяет примерно одно и то же количество углекислоты.

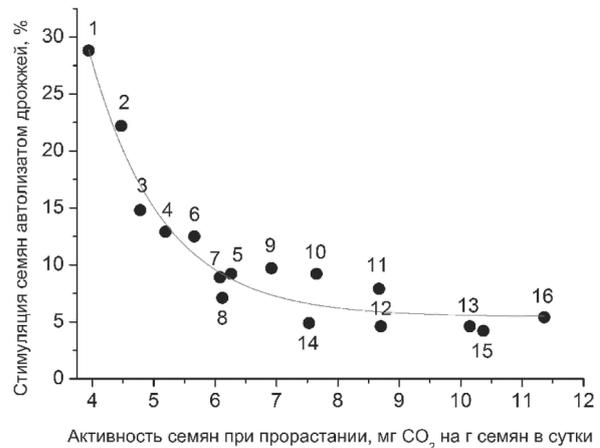


Рис. 2. Зависимость эффекта стимуляции автолизатом дрожжей «*Saccharomyces cerevisiae*» от качества зерна, определенного по интенсивности выделения CO_2 за сутки при прорастании зерна при 25 °С: 1 – озимая пшеница сорт «Галина»; 2 – озимая пшеница сорт «Экспериментальная»; 3 – озимая пшеница сорт «Немчиновская 24»; 4 – озимая пшеница сорт «Московская 39»; 5 – озимая пшеница сорт «Московская 56»; 6 – яровая пшеница сорт «Новосибирская 29»; 7 – яровая пшеница сорт «Злата»; 8 – яровая пшеница сорт «МИС»; 9 – яровая пшеница сорт «Юбилейная 80»; 10 – яровая пшеница сорт «Оренбургская 10»; 11 – яровая пшеница сорт «Эстер»; 12 – яровая пшеница сорт «Любава»; 13 – озимая рожь сорт «Валдай»; 14 – озимый тритикале сорт «Гермес»; 15 – озимый тритикале сорт «Немчиновский 56»; 16 – яровой ячмень сорт «Владимир»

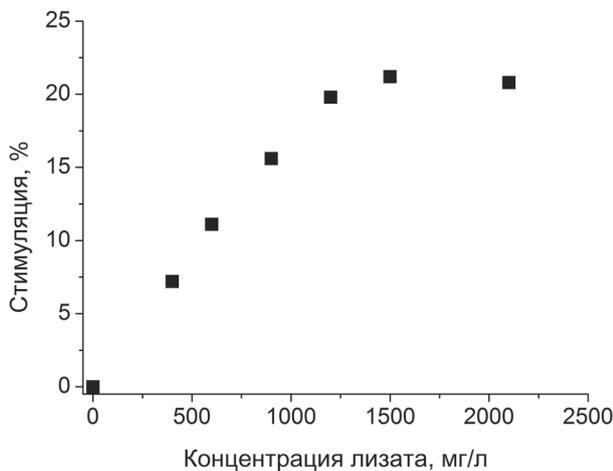


Рис. 1. Зависимость эффекта стимуляции автолизатом дрожжей «*Saccharomyces cerevisiae*» озимой пшеницы сорта «Экспериментальная» от концентрации автолизата в растворе, определенного по интенсивности выделения CO_2 за сутки при прорастании зерна при 25 °С

Fig. 1. The dependence of the stimulation effect of yeast autolysate «*Saccharomyces cerevisiae*» winter wheat «Experimental» autolysate of concentration in solution, determined from the intensity of CO_2 release during germination of corn per day at 25 °С

Fig. 2. Dependence of the stimulation effect of yeast autolysate «*Saccharomyces cerevisiae*» of grain quality, specific CO_2 discharge rate per day during the germination of grains at 25 °С: 1 – Winter wheat variety «Galina»; 2 – Winter wheat variety «experimental»; 3 – Winter wheat variety «Nemchinovskaya 24»; 4 – winter wheat cultivar «Moscow 39»; 5 – winter wheat cultivar «Moscow 56»; 6 – spring wheat cultivar «Novosibirsk 29»; 7 – spring wheat cultivar «Golden»; 8 – spring wheat cultivar «MIS»; 9 – spring wheat cultivar «80 Anniversary»; 10 – spring wheat cultivar «Orenburg 10»; 11 – spring wheat cultivar «Ester»; 12 – spring wheat cultivar «Lyubava»; 13 – winter rye variety «Valdai»; 14 – Winter triticale cultivar «Hermes»; 15 – winter triticale variety «Nemchinovsky 56»; 16 – spring barley cultivar «Vladimir»

Подобная постановка вопроса позволяет выдвинуть предположение о стимуляции раствором автолизата микрофлоры семян, которая располагается на зерновке. Ранее было показано [22], что уже в период молочной спелости большое количество микроорганизмов находится на зерновке, а фузариозная инфекция проникает в формирующуюся зерновку в период от цветения до уборки. Сапрофитные же грибы и бактерии проникают в зерно пшеницы почти одновременно с образованием завязи и растут вместе с ней. Полевая зараженность семян пшеницы свежубранного урожая составляет на юге Украины 99–100 %; из них: *Alternaria* – 80–90 %; *Helminthosporium* – 1–5 %, *Fusarium* и *Mycelia sterilia* – 10–15 % и в небольшом количестве *Verticillium*, *Cepholosporium*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor* [22].

Для проверки влияния поверхностной микрофлоры семян на выделение углекислоты выделили смывы с семян путем встряхивания 75 г семян в 100 г воды на качалке в течение 30 мин. После этого в полученную вытяжку, содержащую в том числе и микрофлору семян, вводили автолизат (разные количества) и помещали полученный раствор в

стаканчик в песок, проведя определение углекислоты в соответствии с описанной выше методикой. Эксперименты были проведены на озимой пшенице сорта «Галина» и яровой пшенице сорта «Любава». Было обнаружено, что во всех случаях смывы с автолизатом выделяют несколько больше углекислоты, чем обнаруживается ее прирост при проращивании семян в растворах автолизатов по сравнению с проращиванием в воде.

Следовательно, при количественном определении интенсивности дыхания мы учитываем как бы результат всех биохимических превращений в зерновой массе, вызываемых собственными ферментами зерна и эпифитной его микрофлорой. По-видимому, несбалансированные по составу стимуляторы оказывают незначительное влияние на развитие микрофлоры семян, и это позволяет не учитывать влияние микрофлоры на выделение семенами углекислоты. Однако использование автолизатов должно активировать оба процесса – прорастание семян и развитие на них микрофлоры. В результате задача подбора стимуляторов прорастания семян осложняется возможным влиянием развивающейся на семенах и внутри семян микрофлоры [10, 22, 31], так как заранее невозможно предсказать направление влияния метаболитов развивающейся микрофлоры семян на развитие самих семян.

Для проверки влияния на развитие семян метаболитов развивающейся на семенах и внутри семян микрофлоры провели эксперименты с использованием растворов автолизатов различных концентраций, измеряя не только количество выделяющейся углекислоты, но и изучая визуально количество и размер проростков. Было отмечено, что рост концентрации автолизатов на других зерновых культурах приводит к практически линейному росту выделения углекислоты, но при этом прорастание семян по сравнению с контролем заметно замедляется.

В качестве примера приведены результаты, полученные на яровой пшенице сортов «Любава» и «Эстер». Наблюдается практически линейный рост выделения углекислоты при увеличении концентрации автолизата (рис. 3), но при этом развитие семян замедляется.

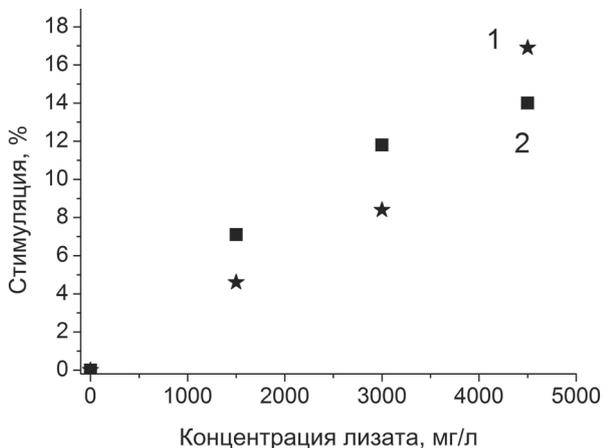


Рис. 3. Зависимость интенсивности выделения CO₂ за сутки при проращивании семян яровой пшеницы сорта «Любава» (1) и «Эстер» (2) при 25 °С от концентрации автолизата дрожжей «*Saccharomyces cerevisiae*» в растворе

Fig. 3. The dependence of the CO₂ release rate per day during the germination of seeds «Lyubava» (1), and «Esther» of spring wheat (2) at 25 °С, the concentration of autolyzed yeast «*Saccharomyces cerevisiae*» solution

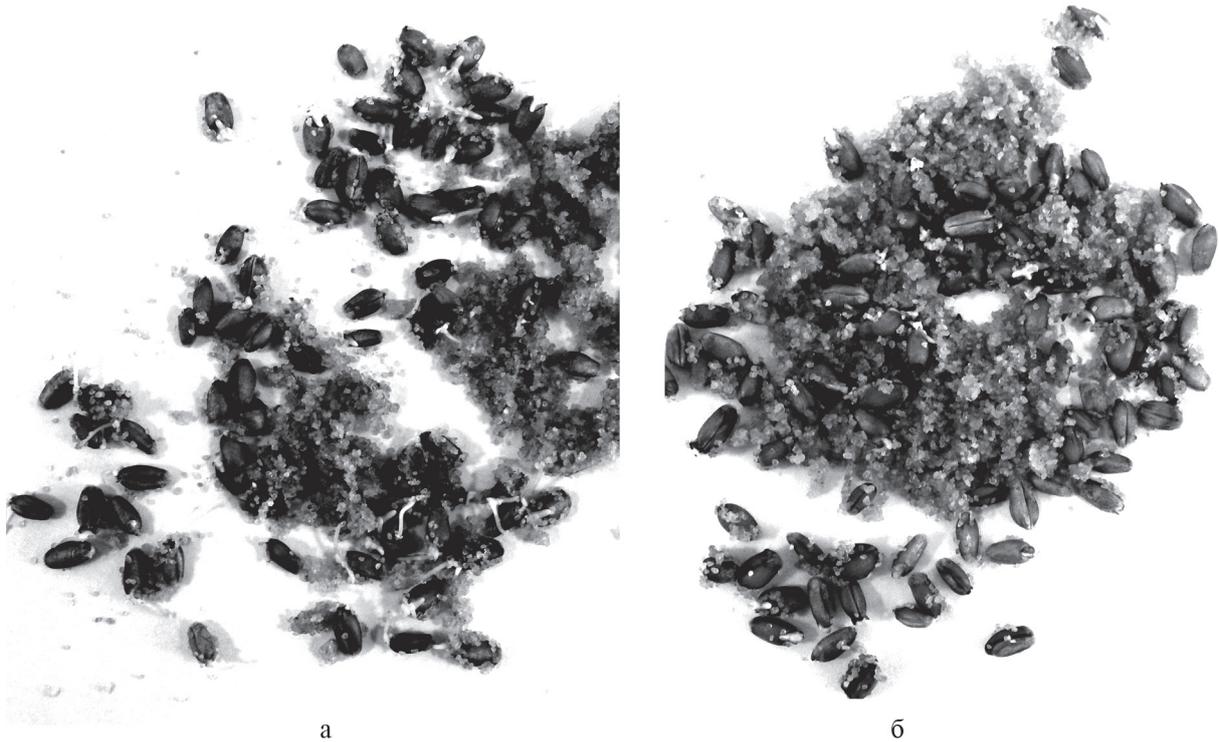


Рис. 4. Фотографии семян яровой пшеницы сорта «Любава» после проращивания в течение суток при 25 °С в воде (а) растворе автолизата с концентрацией 4,5 г/л (б)

Fig. 4. Photographs of spring wheat seed «Liubava» after germination overnight at 25 °С in water (a) autolysate solution at a concentration of 4.5 g / l (b)

На фотографии (рис. 4, а), где представлены семена яровой пшеницы сорта «Любава», контактировавшие с водой, хорошо видно, что длина проростков в ряде случаев сравнима с размером зерновок. При этом семена, контактировавшие с раствором автолизата, едва проклюнулись (рис. 4, б).

Таким образом, активное развитие под влиянием автолизата микрофлоры, находящейся на семенах, приводит к заметному замедлению прорастания семян.

Попытаемся понять причину преимущественного развития микрофлоры семян, а не самих семян, рассмотрев для этого предположительный механизм поглощения автолизата из раствора.

В соответствии с описанной методикой мы помещаем слой семян на дно стаканчика, засыпаем слоем песка и добавляем раствор автолизата. При такой постановке эксперимента автолизат равномерно распределен по всему раствору и должен поступать к семенам, в основном, путем диффузии. Лишь на самой первой стадии взаимодействия су-

хих семян с раствором небольшое количество раствора войдет в семена через дефекты в мембранах [22]. В связи с тем, что микрофлора располагается и на поверхности семян, в случае активного потребления поверхностной микрофлорой автолизата его концентрация должна падать в области нахождения микрофлоры, и в клетки семян он поступать практически не будет. Причем, это касается любого стимулятора, с избытком раствора которого контактируют зерновки при замачивании в нем семян.

Ситуация кардинально изменяется, если обработку семян проводят общепринятым в сельском хозяйстве полусухим способом при расходе растворов 10–20 л/т семян. В этом случае при той же дозе концентрация автолизата в растворе примерно в 50 раз выше, а раствора, с которым взаимодействуют семена, в 50 раз меньше. В результате большая часть раствора должна входить внутрь семян, практически не запуская развитие поверхностной микрофлоры. Следовательно, изменение способа обработки семян препаратом-стимулятором должно

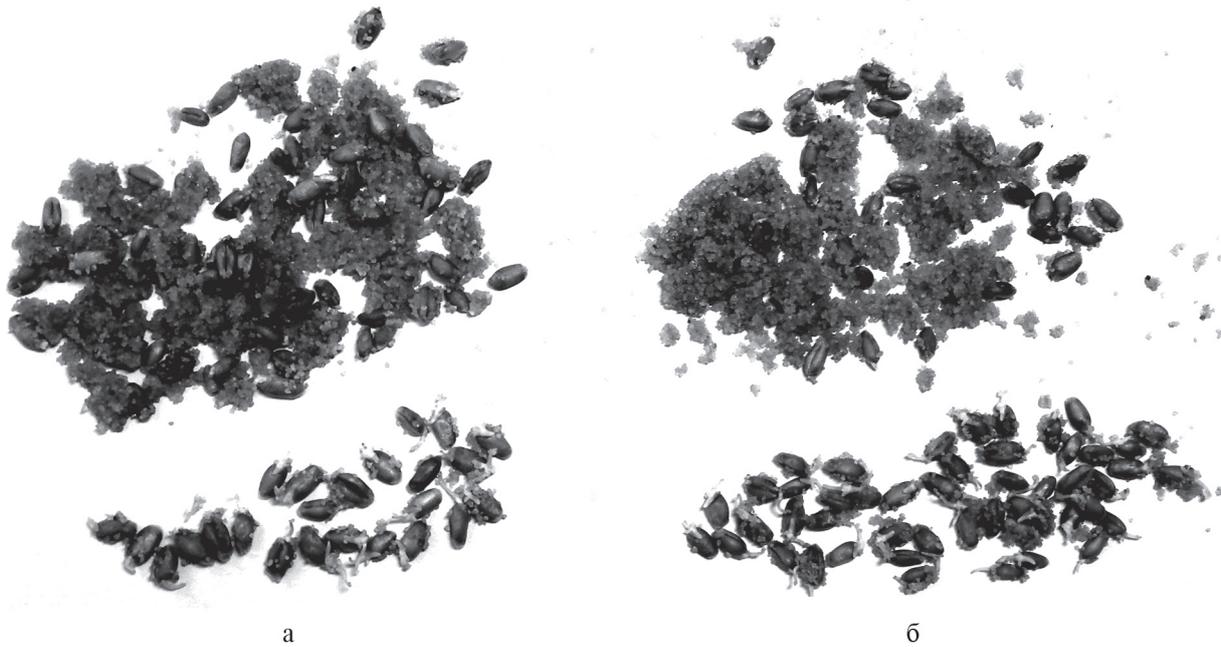


Рис. 5. Фотографии семян яровой пшеницы сорта «Любава», необработанных (а) и обработанных раствором автолизата концентрацией 75 г/л при расходе раствора 20 л/т (б), после проращивания в воде в течение суток при 25 °С

Fig. 5. Photo of spring wheat seed «Liubava» untreated (a) and treated with a solution concentration autolysate 75 g / l solution at a flow rate of 20 l / m (b), after germination overnight at 25 °C in water

менять соотношение биологически активных веществ, потребляемых поверхностной микрофлорой семян и самими семенами.

Проведенные эксперименты подтвердили это предположение.

В качестве примера приведена фотография (рис. 5) семян яровой пшеницы сорт «Любава», необработанных и обработанных раствором автолизата концентрацией 75 г/л при расходе раствора 20 л/т. Для количественной оценки подсчитывали количество семян, величина проростков у которых была более 2–3 мм. У необработанных автолизатом семян (рис. 5, а) количество таких зерновок составило 24 штуки, а у обработанных – 49 штук (рис. 5, б).

Для оценки действия предлагаемого нового стимулятора для проращивания семян (автолизата) провели определение оптимальной его концентрации (табл. 1), а затем сравнили с наиболее эффективными из существующих препаратов-стимуляторов: «Фертигрейн старт» и «Альбит» (табл. 2).

Из представленных данных (табл. 1) хорошо видно, что эффект от применения автолизата дрожжей стабилизируется при кон-

центрации автолизата в растворе 75 г/л (дозе 1,5 кг / т).

Сравнение автолизата дрожжей «*Saccharomyces cerevisiae*» с другими препаратами-стимуляторами показывает (табл. 2), что этот препарат обладает в 1,5–2 раза большей эффективностью.

Выводы

По итогам экспериментов можно сделать определенные выводы.

– При проращивании семян в контакте с раствором, содержащим автолизат, наблюдается угнетение прорастания семян при общем росте выделения углекислоты. То есть микрофлора, находящаяся на семенах, активно развивается при поступлении питательных веществ к поверхности семян путем диффузии и блокирует развитие семян. Связано это, вероятно, с тем, что автолизаты активно поглощаются микроорганизмами, и концентрации в районе растущих колоний уменьшается. В результате диффузии автолизатов по градиенту концентраций они поступают, в первую очередь, к микроорганизмам, а в семена практически не поступают.

Активность биохимических процессов при прорастании семян яровой пшеницы сорта «Любава», обработанных раствором автолизата дрожжей «Saccharomyces cerevisiae» разных концентраций полусухими способом при расходе раствора на обработку 20 л/т семян
The activity of biochemical processes during the germination of seeds «Lyubava» spring wheat varieties treated with a solution of autolyzed yeast «Saccharomyces cerevisiae» different concentrations of semi-dry process at a flow rate of the solution to the processing of 20 l / t seeds

Концентрация раствора, г/л / Доза автолизата, г/т	Количество CO ₂ , мг × 10 ³ на одну зерновку
0 (вода)	282±12
25 / 500	313±14 (10,9 %)
50 / 1000	322±15 (14,2 %)
75 / 1500	331±13 (17,4 %)
200 / 4000	332±14 (17,8 %)

Т а б л и ц а 2

Активность биохимических процессов при прорастании семян яровой пшеницы различных сортов, обработанных препаратами «Фертигрейн старт», «Альбит» и раствором автолизата дрожжей «Saccharomyces cerevisiae» оптимальных концентраций
The activity of biochemical processes during the germination of seeds of different varieties of spring wheat treated with drugs «Fertigreyn start», «Album» and a solution of autolyzed yeast «Saccharomyces cerevisiae» optimal concentrations

Культура, сорт	Количество CO ₂ , мг × 10 ³ на одну зерновку			
	Контроль (вода)	Фертигрейн старт	Альбит	Автолизат
Яровая пшеница, сорт «Любава»	282±12	317±11 (12,4 %)	311±14 (10,3 %)	331±13 (17,4 %)
Яровая пшеница, сорт «Эстер»	204±7	218±8 (6,5 %)	212±8 (3,9 %)	227±7 (11,2 %)
Яровая пшеница, сорт «Злата»	290±10	288±12 (0 %)	303±13 (4,5 %)	325±12 (11,9 %)

– При обработке семян полусухим способом (20 л раствора на тонну семян) раствором, содержащим автолизат, наблюдается заметная активизация прорастания семян. Подобное различие, по-видимому, связано с поглощением основного количества поступающей жидкости (раствора автолизата) семенами внутрь клеток через дефекты клеточных мембран, при минимальном поглощении раствора микроорганизмами, находящимися на поверхности семян.

– Обнаружение влияния способа обработки семян на эффективность обработки уточняет методику, по которой надо проводить испытания эффективности препаратов-стимуляторов прорастания семян.

– Проведенная на ряде зерновых культур проверка эффективности использования автолизата дрожжей «Saccharomyces cerevisiae» показала его преимущество по сравнению с другими препаратами-стимуляторами в сельскохозяйственном производстве.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России, проект № 37.2486.2014/К.

Библиографический список

1. Аврамчук, Н.Г. Эффективность использования ПАБК для предпосевной обработки семян ярового ячменя / Н.Г. Аврамчук, Ю.И. Бигун, В.А. Дорошук // Сб. Химические мутагены и пара-аминобензойная кислота в повышении урожайности сельскохозяйственных культур. – М.: Наука, 1989. – С. 123–126.
2. Аксенова, Л.А. Влияние предпосевной обработки семян пшеницы поверхностно-активными веществами на их прорастание при неблагоприятных условиях / Л.А. Аксенова, Е.А. Зак, М.А. Бочарова, Н.Л. Клячко // Физиология растений. – 1990. – Т. 37. – № 5. – С. 1007–1014.
3. Алехин В.Т. Альбит на зерновых культурах и сахарной свекле / В.Т. Алехин, В.Р. Сергеев, А.К. Злотников и др. // Защита и карантин растений. – 2006. – № 6. – С. 26–27.
4. Андрианова, Ю.Е. Влияние янтарной кислоты на урожай и качество сельскохозяйственных культур / Ю.Е. Андрианова, Н.И. Сафина, Н.Н. Максютлова, И.Г. Кадошников // Агрехимия. – 1996. – № 8-9. – С. 117–122.
5. Бурмистрова, Т.И. Влияние комплексного препарата гуминовых кислот и микроэлементов на урожайность и устойчивость к болезням яровой пшеницы / Т.И. Бурмистрова, С.Н. Удинцев, Н.Н. Терещенко и др. // Агрехимия. – 2011. – № 9. – С. 64–67.

6. Гоник, С.А. Изучение действия ПАБК на яровую пшеницу / С.А. Гоник // Сб. Химические мутагены и пара-аминобензойная кислота в повышении урожайности сельскохозяйственных культур. – М.: Наука. – 1989. – С. 94–98.
7. Гринев, В.С. Рострегулирующая активность бензо-(2,3-*b*)-1,4-диаза- и бензо-1-аза-4-окса-бицикло (3.3.0) октан-8-онов на растениях мягкой пшеницы / В.С. Гринев, Е.В. Любунь, А.Ю. Егорова // Агрохимия. – 2011. – № 3. – С. 46–50.
8. Дворник, В.Я. Влияние предпосевной стимуляции семян на урожайность зерновых культур / В.Я. Дворник, В.П. Кавунец, В.И. Мищенко // Сб. научн. тр. Селекция, семеноводство и сортовая агротехника зерновых и кормовых культур. – Л.: Минсельхоз СССР. – Всесоюзная академия сельскохозяйственных наук им. В.И. Ленина. – 1985. – С. 25–29.
9. Дмитриев, А.М. Стимуляция роста растений / А.М. Дмитриев, Л.К. Страцкевич // Под ред. Н.Ф. Батыгина. – Мн.: Ураджай. – 1986. – 118 с.
10. Исаева, О.В. Эндифитные дрожжевые грибы в запасующих тканях растений / О.В. Исаева, А.М. Глушакова, С.А. Гарбуз и др. // Известия РАН, серия биологическая. – 2010. – № 1. – С. 34–43.
11. Кабузенко, С.Н. Влияние биологически активных веществ на прорастание семян и рост проростков культурных растений на фоне засоления / С.Н. Кабузенко, В.Г. Блохин, Н.И. Копылов // Сб. научн. тр. Регуляторы роста растений. – Л.: Минсельхоз СССР. – Всесоюзная академия сельскохозяйственных наук им. В.И. Ленина, Всесоюзный НИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова. – 1989. – С. 25–29.
12. Кожухарь, Т.В. Влияние минеральных удобрений и предпосевной обработки семян биологическими препаратами на содержание хлорофилла в листьях озимой пшеницы / Т.В. Кожухарь, Е.В. Кириченко, С.С. Кохан // Агрохимия. – 2010. – № 1. – С. 61–67.
13. Кравец, А.В. Предпосевная обработка семян яровой пшеницы гуминовым препаратом из торфа / А.В. Кравец, Д.Л. Бобровская, Л.В. Касимова, А.П. Зотикова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – № 4 (78). – С. 22–24.
14. Куркина, Ю.Н. Влияние препарата нано-гро на урожайность и качество зерна яровой пшеницы и ячменя / Ю.Н. Куркина, Р.О. Газманов, В.М. Кочетов // Научные ведомости. Серия Естественные науки. – 2010. – № 9 (8). – Вып. 11. – С. 59–64.
15. Наумов, Г.Ф. Эффективность биологической стимуляции семян полевых культур / Г.Ф. Наумов, Л.Ф. Насонова, Л.В. Подоба // Сб. научн. тр. Теория и практика предпосевной обработки семян. – К.: ЮО ВАСХНИЛ. – 1984. – С. 20–27.
16. Николаева, М.Г. Справочник по проращиванию покоящихся семян / М.Г. Николаева, М.В. Разумова, В.Н. Гладкова. – Л.: Наука. – 1985. – 347 с.
17. Обручева, Н.В. Физиология инициации прорастания семян / Н.В. Обручева, О.В. Антипова // Физиология растений. – 1997. – Т. 44. – № 2. – С. 287–302.
18. Рахманкулова, З.Ф. Влияние предпосевной обработки семян пшеницы салициловой кислотой на ее эндогенное содержание, активность дыхательных путей и антиоксидантный баланс растений / З.Ф. Рахманкулова, В.В. Федяев, С.Р. Рахматуллина и др. // Физиология растений. – 2010. – Т. 57. – № 6. – С. 835–840.
19. Рахматуллина, С.Р. Влияние препарата рифтал на морфофизиологические параметры проростков пшеницы при нормальном и дефицитном минеральном питании / С.Р. Рахматуллина, В.В. Федяев, Р.Ф. Талипов, З.Ф. Рахманкулова // Агрохимия. – 2007. – № 5. – С. 42–48.
20. Рогожин, В.В. Действие строфантина на прорастание семян / В.В. Рогожин, М.Е. Сабардахова, А.С. Попова // Известия ТСХА. – 1996. – Вып. 4. – С. 211–217.
21. Рябчинская, Т.А. Полифункциональное действие препарата Альбит при предпосевной обработке семян яровой пшеницы / Т.А. Рябчинская, Г.Л. Харченко, Н.А. Саранцева и др. // Агрохимия. – 2009. – № 10. – С. 39–47.
22. Сечняк, Л.К. Экология семян пшеницы / Л.К. Сечняк, Н.А. Киндрок, О.К. Слюсаренко и др. – М.: Колос, 1983. – 349 с.
23. Федотов, Г.Н. Методика оценки посевных качеств семян / Г.Н. Федотов, М.Ф. Федотова // Роль почв в биосфере. Труды Института экологического почвоведения Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. – М., 2015. – Вып. 15. – С. 23–42.
24. Федотов, Г.Н. К вопросу о стимуляции прорастания семян с неглубоким покоем / Г.Н. Федотов, М.Ф. Федотова, В.С. Шалаев и др. // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2016. – № 1. – Т. 20. – С. 147–157.
25. Хатаева, Л.Ю. Изучение влияния некоторых новых гетероциклических соединений на продуктивность и биохимический состав сортов пшеницы и тритикале / Л.Ю. Хатаева, Н.С. Орлова, И.Н. Клочкова и др. // Сб. Вопросы генетики и селекции зерновых культур на юго-востоке России, Саратовский сельскохозяйственный институт. – 1993. – С. 141–147.
26. Христева, Л.А. Эффективность применения физиологически активных гумусовых веществ для предпосевной обработки семян / Х.Л. Христева, А.М. Галушка // Сб. научн. тр. Теория и практика предпосевной обработки семян. – К.: ЮО ВАСХНИЛ. – 1984. – С. 16–20.
27. Чжан, Ш. Сероводород стимулирует прорастание семян пшеницы при осмотическом стрессе / Ш. Чжан, М.И. Ван, Л.Я. Ху и др. // Физиология растений. – 2010. – Т. 57. – № 4. – С. 571–579.
28. Шакирова, Ф.М. Влияние фэтила на гормональный статус растений пшеницы в онтогенезе в связи с устойчивостью к *Tilletia caries* (DC) Tul / Ф.М. Шакирова, Р.В. Нурғалиева, Р.Ф. Исаев и др. // Агрохимия. – 2009. – № 3. – С. 40–44.
29. Шакирова, Ф.М. Влияние предобработки метилжасмонатом на устойчивость проростков пшеницы к солевому стрессу / Ф.М. Шакирова, А.Р. Сахабутдинова, Р.С. Ишдаветова и др. // Агрохимия. – 2010. – № 7. – С. 26–32.
30. Широких, И.Г. Оценка Na-солей суммы тритерпеновых кислот *Abies sibirica* L. в качестве регулятора роста и стресспротектора яровой пшеницы / И.Г. Широких, Р.И. Абубакирова, Е.М. Карпова и др. // Агрохимия. – 2007. – № 1. – С. 52–56.
31. Щербаков, А.В. Эндифитные бактерии, населяющие семена пшеницы, перспективные продуценты микробных препаратов для сельского хозяйства / А.В. Щербаков, А.Н. Заплаткин, В.К. Чеботарь // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 7. – С. 35–38.
32. Эйгес, Н.С. Влияние ПАБК на сорта озимой пшеницы в условиях производственного опыта / Сб. Химические мутагены и пара-аминобензойная кислота в повышении урожайности сельскохозяйственных культур / Н.С. Эйгес. – М.: Наука. – 1989. – С. 38–64.

ESTIMATION OF THE USE AUTOLYSATE AS A GERMINATION SEEDS STIMULANT OF CEREAL CROPS

Fedotov G.N., (Lomonosov Moscow State University)⁽¹⁾; Fedotova M.F., (Moscow State Forest University)⁽²⁾; Shalaev V.S.,⁽²⁾; Batyrev Y.P.,⁽²⁾;

gennadiy.fedotov@gmail.com, shalaev@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ Lomonosov Moscow State University (MSU) Institute of Ecology Soil Science, MSU, GSP-1, Leninskiye Gory, 1-12, 119991, Moscow, Russia,

⁽²⁾ Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

The pre-treatment of seeds with the help of physical impact or biologically active substances is one of the cheapest methods of increasing the sowing qualities of seeds and, as a result, the yield of plants. To achieve this the increase in the concentration of certain set of substances involved in the biochemical reactions of seed germination is necessary. This complex of substances is formed during the autolysis of microorganisms, so the purpose of the work was to evaluate the effective use of autolysates as the stimulants of seed germination.

The work used seeds with a shallow calm as research subjects – spring wheats «Esther», «Zlata», «Lyubava», «Novosibirskaya 29», «MIS», «Yubileynaya 80», «Orenburgskaya 10» winter wheats «Galina», «Nemchinovskaya 24», «Moskovskaya 39», «Moskovskaya 56», «L-15 № 222» – experimental one, winter rye «Valdai» winter tritical varieties «Hermes» and «56 Nemchinovsky», spring barley «Vladimir».

According to the experimental research, results are as follows:

- During germination of seeds in contact with a solution containing autolysate inhibition proras Tania-seed was observed with a general increase of the allocation of carbon dioxide;
- during seed treatment with semi-dry solution containing autolysate, there is noticeably more germination of seeds;
- Detection of the effect of the method of seed treatment on the efficiency specifies the procedure for which it is necessary to test the effectiveness of drugs, stimulants of seed germination;
- the efficiency of autolyzed yeast «Saccharomyces cerevisiae» held on a number of crops verification has proved the advantages of autolyze in comparison with drug stimulants used in the agricultural production.

Keywords: presowing seed autolysates, yields, carbon dioxide concentration, stimulation

References

1. Avramchuk N.G., Bigun Yu.I., Doroshchuk V.A., Doroshkevich P.P. *Effektivnost' ispol'zovaniya PABK dlya predposevnoy obrabotki semyan yarovogo yachmenya* [The effectiveness of the use of PABA for the treatment of seeds of spring barley] Sb. Khimicheskie mutageny i para-aminobenzoynaya kislota v povyshenii urozhaynosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Moscow: Nauka, 1989, pp. 123-126.
2. Aksenova L.A., Zak E.A., Bocharova M.A., Klyachko N.L. *Vliyanie predposevnoy obrabotki semyan pshenitsy poverkhnostno-aktivnymi veshchestvami na ikh prorastanie pri neblagopriyatnykh usloviyakh* [Effect of pre-sowing treatment of wheat surfactants on their germination under adverse conditions] *Fiziologiya rasteniy* [Vegetable physiology], 1990, V. 37, № 5, pp. 1007-1014.
3. Alekhin V.T., Sergeev V.R., Zlotnikov A.K., Popov Yu.V., Ryabchinskaya T.A., Rukin V.F. *Al'bit na zernovykh kul'turakh i sakharnoy svekle* [Albite on cereals and sugar beet]. *Zashchita i karantin rasteniy* [Plant Protection and Quarantine], 2006, № 6. pp. 26-27.
4. Andrianova Yu.E., Safina N.I., Maksyutova N.N., Kadoshnikova I.G. *Vliyanie yantarnoy kisloty na urozhay i kachestvo sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Effect of succinic acid on the yield and quality of crops]. *Agrokimiya* [Agricultural chemistry]. 1996. N. 8-9. pp. 117-122.
5. Burmistrova T.I., Udintsev S.N., Tereshchenko N.N., Zhilyakova T.P., Sysoeva L.N., Trunova N.M. *Vliyanie kompleksnogo preparata guminovykh kislot i mikroelementov na uro-zhaynost' i ustoychivost' k boleznyam yarovoy pshenitsy* [Influence of complex preparation of humic acids and trace elements on the yield and disease resistance of spring wheat]. *Agrokimiya* [Agricultural chemistry]. 2011. N. 9. pp. 64-67.
6. Gonik S.A. *Izuchenie deystviya PABK na yarovuyu pshenitsu* [Studying the action of PABA on spring wheat]. Sb. Khimicheskie mutageny i para-aminobenzoynaya kislota v povyshenii urozhaynosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Moscow: Nauka, 1989. pp. 94-98.
7. Grinev V.S., Lyubun' E.V., Egorova A.Yu. *Rostreguliruyushchaya aktivnost' benzo-(2,3-b)-1,4-diaza- i benzo-1-aza-4-oksa-bitsiklo (3.3.0) oktan-8-onov na rasteniyakh myagkoy pshenitsy* [Height adjustable Activity benzo (2,3-b) -1,4-diaza-benzo and 1-aza-4-oxa-bicyclo (3.3.0) octan-8-ones on plants of common wheat]. *Agrokimiya* [Agricultural chemistry], 2011, N. 3. pp. 46-50.
8. Dvornik V.Ya., Kavunets V.P., Mishchenko V.I. *Vliyanie predposevnoy stimulyatsii semyan na urozhaynost' zernovykh kul'tur* [Influence of pre-stimulation of seeds on cereals]. Sb. nauchn. tr. Selektsiya, semenovodstvo i sortovaya agrotekhnika zernovykh i kormovykh kul'tur. Leningrad: Minsel'khoz SSSR, Vsesoyuznaya akademiya sel'sko-khozyaystvennykh nauk im. V.I. Lenina, 1985. pp. 25-29.
9. Dmitriev A.M., Stratskevich L.K. *Stimulyatsiya rosta rasteniy* [Stimulation of plant growth]. Minsk: Uradzhay. 1986. 118 p.
10. Isaeva O.V., Glushakova A.M., Garbuz S.A., Kachalkin A.V., Chernov Yu.I. *Endofitnye drozhzhevye griby v zapasayushchikh tkanyakh rasteniy* [Endophytic yeasts in storage tissues of plants]. *Izvestiya RAN, seriya biologicheskaya*, 2010. N. 1. pp. 34-43.
11. Kabuzenko S.N., Blokhin V.G., Kopylov N.I. *Vliyanie biologicheskii aktivnykh veshchestv na prorastanie semyan i rost prorstokov kul'turnykh rasteniy na fone zasoleniya* [Influence of biologically active substances on the seed germination and seedling growth of crops in the background salinity]. Sb. nauchn. tr. Regulyatory rosta rasteniy. Leningrad: Minsel'khoz SSSR, Vsesoyuznaya akademiya sel'skokhozyaystvennykh nauk im. V.I. Lenina, Vsesoyuznyy NII rasteniyevodstva im. N.I. Vavilova, 1989. pp. 25-29.

12. Kozhukhar' T.V., Kirichenko E.V., Kokhan S.S. *Vliyanie mineral'nykh udobreniy i predposevnoy obrabotki semyan biologicheskimi preparatami na sodержanie khlorofilla v list'yakh ozimoy pshenitsy* [Influence of fertilizers and pre-sowing treatment of biological agents on the content of chlorophyll in leaves of winter wheat]. *Agrokimiya* [Agricultural chemistry], 2010, № 1. pp. 61-67.
13. Kravets A.V., Bobrovskaya D.L., Kasimova L.V., Zotikova A.P. *Predposevnaya obrabotka semyan yarovoy pshenitsy guminovym preparatom iz torfa* [Seed pre-treatment of spring wheat humic substances from peat]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2011, № 4 (78). pp. 22-24.
14. Kurkina Yu.N., Gazmanov R.O., Kochetov V.M. *Vliyanie preparata nano-gro na urozhaynost' i kachestvo zerna yarovoy pshenitsy i yachmenya* [Influence of preparation of nano-gro on yield and quality of grain of spring wheat and barley]. *Nauchnye vedomosti. Seriya Estestvennyye nauki* [Scientific statements. A series of natural sciences], 2010, № 9 (8). V. 11. pp. 59-64.
15. Naumov G.F., Nasonova L.F., Podoba L.V. *Effektivnost' biologicheskoy stimulyatsii semyan polevykh kul'tur* [The effectiveness of bio-stimulation of seeds of field crops] *Sb. nauchn. tr. Teoriya i praktika predposevnoy obrabotki semyan*. K.: YuO VASKhNIL, 1984. pp. 20-27.
16. Nikolaeva M.G., Razumova M.V., Gladkova V. N. *Spravochnik po prorashchivaniyu pokoyashchikhsya semyan* [Handbook of germination of dormant seeds]. Leningrad: Nauka, 1985. 347 p.
17. Obrucheva N.V., Antipova O.V. *Fiziologiya initsiatsii prorastaniya semyan* [Physiology initiation of seed germination]. *Fiziologiya rasteniy* [Vegetable physiology], 1997. T. 44. N. 2. pp. 287-302.
18. Rakhmankulova Z.F., Fedyaev V.V., Rakhmatullina S.R., Ivanov S.P., Gil'vanova I.R., Usmanov I.Yu. *Vliyanie predposevnoy obrabotki semyan pshenitsy salitsilovoy kislotoy na ee endogennoe sodержanie, aktivnost' dykhatel'nykh putey i antioksidantnyy balans rasteniy* [Influence of pre-sowing treatment of wheat salicylic acid content of its endogenous activity of the respiratory tract and antioxidant balance of plant]. *Fiziologiya rasteniy* [Plant Physiology]. 2010. T. 57. N. 6. pp. 835-840.
19. Rakhmatullina S.R., Fedyaev V.V., Talipov R.F., Rakhmankulova Z.F. *Vliyanie preparata rifital na morfologicheskie parametry proroskov pshenitsy pri normal'nom i defitsitnom mineral'nom pitanii* [Effect of the drug on the morphological and physiological parameters rifital wheat seedlings under normal and deficient mineral nutrition]. *Agrokimiya* [Agricultural chemistry], 2007. N. 5. pp. 42-48.
20. Rogozhin V.V., Sabardakhova M.E., Popova A.S. *Deystvie strofantina na prorastanie semyan* [Action strofantina on seed germination], *Izvestiya TSKhA*, 1996. V. 4. pp. 211-217.
21. Ryabchinskaya T.A., Kharchenko G.L., Sarantseva N.A., Bobreshova I.Yu., Zlotnikov A.K. *Polifunktional'noe deystvie preparata Al'bit pri predposevnoy obrabotke semyan yarovoy pshenitsy* [Multifunctional action of the drug Albite preliminary treatment of seeds of spring wheat] *Agrokimiya* [Agricultural chemistry], 2009. N. 10. pp. 39-47.
22. Sechnyak L.K., Kindruk N.A., Slyusarenko O.K., Ivashchenko V.G., Kuznetsov E.D. *Ekologiya semyan pshenitsy* [Ecology wheat seeds]. Moscow: Kolos, 1983, 349 p.
23. Fedotov G.N., Fedotova M.F. *Metodika otsenki posevnykh kachestv semyan* [Methods of assessing the quality of seeds sown], *Rol' pochv v biosfere. Trudy Instituta ekologicheskogo pochvovedeniya Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta im. M.V. Lomonosova*. V. 15, 2015, pp. 23-42.
24. Fedotov G.N., Fedotova M.F., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P. *K voprosu o stimulyatsii prorastaniya semyan s neglubokim pokoem* [The issue of stimulation germination of seed with superficial rest]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2016. N. 4(75), T. 20, pp. 64–75.
25. Khataeva L.Yu., Orlova N.S., Klochkova I.N., Suslova T.A., Noritsina M.V. *Izuchenie vliyaniya nekotorykh novykh geterotsiklicheskiykh soedineniy na produktivnost' i biokhicheskiiy sostav sortov pshenitsy i tritikale* [The influence of some new heterocyclic compounds on productivity and chemical composition of wheat and triticale]. *Sb. Voprosy genetiki i selektsii zernovykh kul'tur na yugo-vostoche Rossii, Saratovskiy sel'sko-khozyaystvennyy institut*, 1993, pp. 141-147.
26. Khristeva L.A., Galushka A.M. *Effektivnost' primeneniya fiziologicheskii aktivnykh gumusovykh veshchestv dlya predposevnoy obrabotki semyan* [Efficacy of physiologically active humic substances for treatment of seeds]. *Sb. nauchn. tr. Teoriya i praktika predposevnoy obrabotki semyan*. Kiev: YuO VASKhNIL, 1984. pp. 16-20.
27. Chzhan Sh, Van M.I., Khu L.Ya., Van S.Sh., Khu K.D., Bao L.I., Lo I.P. *Serovodorod stimulyruet prorastanie semyan pshenitsy pri osmoticheskom stresse* [Hydrogen sulfide stimulates the germination of wheat seeds under osmotic stress]. *Fiziologiya rasteniy* [Vegetable physiology], 2010. T. 57. N. 4, pp. 571-579.
28. Shakirova F.M., Nurgalieva R.V., Isaev R.F., Maslennikova D.R., Fatkhutdinova R.A., Bezrukova M.V., Lubyanova A.R., Aval'baev A.M., Sakhabutdinova A.R., Khlebnikova T.D. *Vliyanie fetila na gormonal'nyy status rasteniy pshenitsy v ontogeneze v svyazi s ustoychivost'yu k Tilletia caries (DC) Tul* [Influence phenyl on the hormonal status of wheat plants in ontogenesis in connection with resistance to *Tilletia caries* (DC) Tul]. *Agrokimiya* [Agricultural chemistry], 2009. N. 3, pp. 40-44.
29. Shakirova F.M., Sakhabutdinova A.R., Ishdavletova R.S., Lastochkina O.V. *Vliyanie predobrabotki metilzhasmonatom na ustoychivost' proroskov pshenitsy k solevomu stressu* [Effect of pretreatment of methyl jasmonate on the stability of wheat seedlings to salt stress]. *Agrokimiya* [Agricultural chemistry], 2010. N. 7, pp. 26-32.
30. Shirokikh I.G., Abubakirova R.I., Karpova E.M., Kuchin A.V. *Otsenka Na-soley summy triterpenovykh kislot Abies sibirica L. V kachestve regulatora rosta i stressprotektora yarovoy pshenitsy* [Evaluation of Na-salts sum of triterpenic acids *Abies sibirica* L. As a growth regulator and stressprotektora spring wheat]. *Agrokimiya* [Agricultural chemistry], 2007, № 1, pp. 52-56.
31. Shcherbakov A.V., Zaplatkin A.N., Chebotar' V.K. *Endofitnye bakterii, naselyayushchie semena pshenitsy, perspektivnye produkty mikrobykh preparatov dlya sel'skogo khozyaystva* [Endophytic bacteria inhabiting wheat seeds, prospective producers of microbial preparations for agriculture]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2013. № 7. pp. 35-38.
32. Eyges N.S. *Vliyaniye PABK na sorta ozimoy pshenitsy v usloviyakh proizvodstvennogo opyta* [Effect of PABA on the winter wheat in the conditions of production experience]. *Sb. Khimicheskie mutageny i para-aminobenzoyznaya kislota v povyshenii urozhaynosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur*. Nauka, 1989, pp. 38-64.

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ УПРУГИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

А.А. КОТОВ, проф. МГУЛ, д-р техн. наук⁽¹⁾

kotov@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ФГБОУ ВО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1

Механические свойства нежелательной древесной растительности напрямую влияют на характеристики рабочих органов лесохозяйственных машин. Изучение этих свойств представляет собой сложную техническую задачу. Часто постановка задачи упрощается и не учитываются многие факторы: влияние на упругие свойства растений механической связи с почвой, отличие свойств растущих и спиленных растений и т. д., что приводит к некоторой ошибке. Разработана математическая модель древесного растения и предложена методика определения вклада корневой системы и почвы, обеспечивающих упругую заделку, в суммарную жесткость растения при статическом изгибе. В качестве допущений приняты следующие: стволы растений имеют форму, близкую к конусу с малым диаметром у основания и большой высотой, нагружены сосредоточенной силой и испытывают чистый изгиб, коэффициент жесткости корневой системы и модуль упругости растущего стволика постоянны по углу поворота и высоте стволика соответственно. Установлены зависимости для определения полного отклонения произвольной точки стволика древесных растений при статическом изгибе за счет деформации корневой системы и почвы и прогиба стволика при условии абсолютно жесткой заделки. Выполнен анализ этих зависимостей. Получена система уравнений для определения упругих характеристик древесного растения неразрушающим методом. Представлено экспериментальное подтверждение теоретических выводов в графической форме. Исследованиями установлено, что коэффициент жесткости корневой системы изменяется пропорционально квадрату диаметра стволика у корневой шейки.

Ключевые слова: корневая система, стволы, прогиб, модуль упругости, коэффициент жесткости.

При создании средств механизации для проведения лесоводственного ухода за лесными культурами исходными данными являются как биометрические, так и механические свойства нежелательной древесной растительности. Определение последних представляет собой сложную техническую задачу [1 – 6] и не всегда учитывает реальные условия произрастания. Так, при изучении упругих свойств живых растений почти всегда игнорируется влияние их механической связи с почвой. Кроме этого, при исследованиях используются предварительно срезанные растения, что приводит к некоторой ошибке.

Определяя вклад корневой системы и почвы (далее – корней), обеспечивающих упругую заделку в суммарную жесткость растения при изгибе, представляем его в виде двух частей: корней и стволика. Полное отклонение растения (перемещение x точки приложения к растению изгибающей силы F) складывается в этом случае из двух слагаемых x_1 и x_2 , где x_1 – отклонение за счет деформации корней, x_2 – прогиб самого стволика при условии абсолютно жесткой заделки

$$x = x_1 + x_2. \quad (1)$$

Рассматривая равновесие растения,

$$Fh = C\varphi,$$

где h – высота приложения нагрузки, м;

C – коэффициент жесткости корневой системы, Н·м/рад;

φ – угол поворота оси стволика, рад.

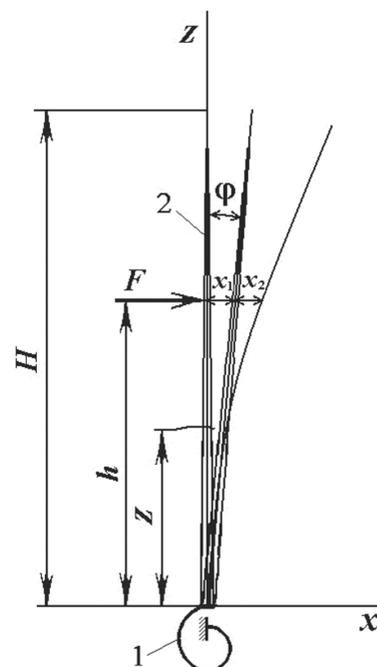


Рис. 1. К расчету изгиба растения: 1 – корневая система, 2 – стволы

Fig. 1. The calculation of bending plants: 1 – the root system, 2 – barrel

Принимая, что $\varphi = x_1 / h$, получаем

$$C = \frac{Fh^2}{x_1} \quad (2)$$

$$\text{или } x_1 = \frac{Fh^2}{C}. \quad (3)$$

Допускаем, что стволики растений имеют форму, близкую к конусу с малым диаметром основания и большой высотой, нагружены сосредоточенной силой и испытывают чистый изгиб. Также считаем, что коэффициент жесткости корневой системы и модуль упругости растущего стволика постоянны соответственно по углу поворота и высоте стволика.

Используя интеграл Мора [7], запишем выражение для небольших прогибов консольно заделанного конуса

$$x_2 = \sum \int_H \frac{M_y M_1}{EJ_y} dz.$$

Для конуса диаметр стволика в произвольном сечении будет равен

$$d_i = d_0 \frac{H-z}{H} = d_0 \left(1 - \frac{z}{H}\right) = d_0 - \frac{d_0}{H} z,$$

где d_0 – диаметр стволика у корневой шейки, H – высота стволика.

Тогда момент инерции сечения конуса в произвольной точке будет равен

$$J_y = J_0 \frac{(H-z)^4}{H^4} = J_0 \left(1 - \frac{z}{H}\right)^4,$$

где J_0 – момент инерции сечения конуса у основания.

Изгибающий момент от силы F в произвольной точке будет равен

$$M_y = F(h-z).$$

Изгибающий момент единичной силы в этой же точке будет равен

$$M_1 = 1 \cdot (h-z).$$

Тогда [8]

$$x_2 = \frac{FH}{3EJ_0} \cdot \frac{h^3}{H-h}. \quad (4)$$

Выражение (1) предстанет в следующем виде

$$x = \frac{Fh^2}{C} + \frac{Fh^3}{3EJ_0} \cdot \frac{H}{H-h} = Fh^3 \left(\frac{1}{Ch} + \frac{1}{3EJ_0} \cdot \frac{H}{H-h} \right), \quad (5)$$

$$\text{или } x = Fh^2 \frac{3EJ_0(H-h) + CHh}{3EJ_0C(H-h)}. \quad (6)$$

Выразим из (5) с учетом (1) коэффициент жесткости C

$$C = \frac{Fh^2}{x-x_2} = \frac{3EJ_0Fh^2(H-h)}{3x_2EJ_0(H-h) - Fh^3H}. \quad (7)$$

Так как составные части полного отклонения растения под действием изгибающей силы определить на практике непосредственно невозможно, традиционным методом находим вначале модуль упругости стволика срезанного растения по известным формулам сопротивления материалов, а затем вычисляем отклонение x_2 , определяемое жесткостью стволика. Зная полное отклонение x , находим как разницу отклонение x_1 , определяемое жесткостью корней. Потом по формуле (7) рассчитываем жесткость корневой системы.

Исследуем влияние, оказываемое частями растения на его суммарную жесткость, в зависимости от высоты приложения нагрузки. Для этого разделим (4) на (3)

$$\frac{x_2}{x_1} = \frac{CHh}{3EJ_0(H-h)}.$$

При $h \rightarrow 0$ отношение $(x_2 / x_1) \rightarrow 0$. Следовательно, $x_2 \ll x_1$. Поэтому при малой высоте приложения нагрузки можно принять, что $x_1 \approx x$, так как полное отклонение точки стволика в этом случае будет определяться в основном только деформацией корней. Запишем измененное выражение (2)

$$C = \frac{Fh^2}{x_1} \approx \frac{Fh^2}{x}.$$

При $h \rightarrow H$ отношение $(x_2 / x_1) \rightarrow \infty$. Следовательно, $x_2 \gg x_1$. Поэтому при большой высоте приложения нагрузки с достаточной для практики точностью можно принять, что $x_2 \approx x$, так как полное отклонение стволика в этом случае будет определяться в основном только деформацией собственно стволика. Здесь модуль упругости растущего стволика можно приближенно найти по формуле

$$E = \frac{Fh^3}{3x_2J_0} \cdot \frac{H}{H-h} \approx \frac{Fh^3}{3xJ_0} \cdot \frac{H}{H-h}. \quad (8)$$

Очевидно, что без учета влияния корневой системы при произвольной высоте приложения нагрузки формулу (8) можно представить следующим образом

$$E_{\text{нр.}} = \frac{Fh^3}{3xJ_0} \cdot \frac{H}{H-h},$$

где $E_{\text{нр.}}$ – приведенный модуль упругости стволика.

Используя уравнение (4), имеем

$$E_{\text{пр.}} = E \frac{x_2}{x}, \quad (9)$$

а с учетом (6)

$$E_{\text{пр.}} = E \cdot \frac{CHh}{3EJ_0 \cdot (H-h) + CHh}.$$

Заменим

$$\frac{CHh}{3EJ_0 \cdot (H-h) + CHh} = \frac{1}{\frac{3EJ_0 \cdot (H-h)}{CHh} + 1} = k_{\text{пр.}}$$

– коэффициент приведения.

С учетом (9)

$$k_{\text{пр.}} = \frac{x_2}{x} = \frac{1}{\frac{x_1}{x_2} + 1}.$$

В результате получаем

$$E_{\text{пр.}} = E \cdot k_{\text{пр.}}$$

Очевидно, что величина приведенного модуля упругости будет зависеть от высоты приложения нагрузки.

Модуль упругости стволика и жесткость корневой системы можно определить с помощью уравнения (5), прикладывая изгибающую силу на разной высоте. Тогда получаем систему уравнений

$$\left. \begin{aligned} x' &= \frac{F'(h')^2}{C} + \frac{F'(h')^3}{3EJ_0} \cdot \frac{H}{H-h'}; \\ x'' &= \frac{F''(h'')^2}{C} + \frac{F''(h'')^3}{3EJ_0} \cdot \frac{H}{H-h''} \end{aligned} \right\}$$

где x' , F' , x'' , F'' – соответственно отклонения точки стволика и изгибающие силы на высотах h' и h'' .

Обозначив

$$k_{11} = F'(h')^2, \quad k_{12} = \frac{F'(h')^3}{3J_0} \cdot \frac{H}{H-h'},$$

$$k_{21} = F''(h'')^2, \quad k_{22} = \frac{F''(h'')^3}{3J_0} \cdot \frac{H}{H-h''},$$

получим

$$\left. \begin{aligned} x' &= \frac{k_{11}}{C} + \frac{k_{12}}{E}; \\ x'' &= \frac{k_{21}}{C} + \frac{k_{22}}{E} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Выразим C из первого уравнения системы (10)

$$C = \frac{k_{11}}{x' - \frac{k_{12}}{E}} \quad (11)$$

и подставим его во второе. После упрощения получим

$$E = \frac{k_{11} \cdot k_{22} - k_{21} \cdot k_{12}}{k_{11} \cdot x'' - k_{21} \cdot x'} \quad (12)$$

Для проверки теоретических положений проведены экспериментальные исследования [9, 10]. Исследовались упругие свойства пород: осины, березы и ольхи. При этом замерялись высота растений H и диаметр их стволиков у корневой шейки d_0 , а также на высотах 0,2, 0,4, 0,6 м и т. д. ($d_{0,2}$, $d_{0,4}$, $d_{0,6}$ и т. д.). Далее к стволикам прикладывалась нагрузка на высотах с шагом 0,2 м и фиксировались отклонения в точках ее приложения. Затем с учетом формы стволика по приведенным выше формулам определялся модуль упругости.

Из графика (рис. 2) видим, что при минимальной высоте приложения изгибающей силы наибольший вклад в отклонение стволика вносит жесткость корневой системы, а при максимальной – жесткость стволика. При увеличении высоты приложения нагрузки прогиб собственно стволика приближается к полному его отклонению. Используя эту закономерность, можно приближенно определить модуль упругости стволика: при достаточно большой высоте приложения нагрузки он примерно равен приведенному модулю упругости.

Аналогичный график, но построенный при постоянной изгибающей силе ($F = 10$ Н), представлен на рис. 3.

Модуль упругости стволика определялся как на растущей, так и на спеленной целой и разрезанной на части по 0,2 м березе ($d_0 = 25,4$ мм, $H = 3,92$ м). При этом результаты оказались примерно одинаковыми.

С помощью уравнений (11) и (12) были составлены специальные вспомогательные таблицы, примеры которых представлены в статье (табл. 1–3). Отбросив грубые наблюдения [11], найдем средние значения $E_{\text{ср.}}$ и $C_{\text{ср.}}$, которые указаны в конце таблиц. На основании этих таблиц построены точечные диаграммы модуля упругости стволика и коэффициента жесткости корневой системы. Они частично представлены на рис. 4 для березы, на рис. 5 для осины, а на рис. 6 для ольхи.

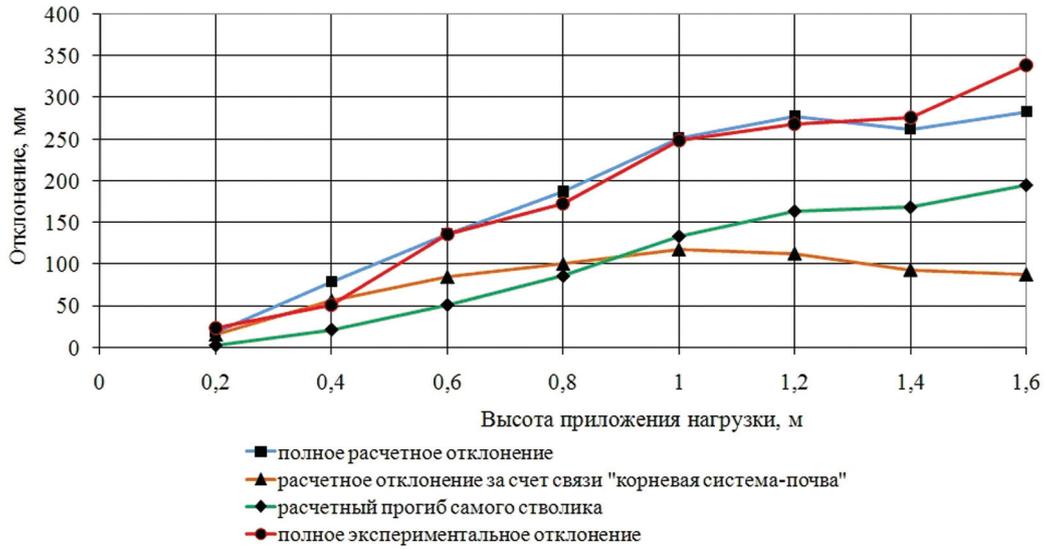


Рис. 2. Сравнение фактического и расчетного отклонений стволика березы ($d_0 = 25,4$ мм, $H = 3,92$ м)
 Fig. 2. Comparison of actual and estimated deviations birch trunk ($d_0 = 25,4$ мм, $H = 3,92$ м)

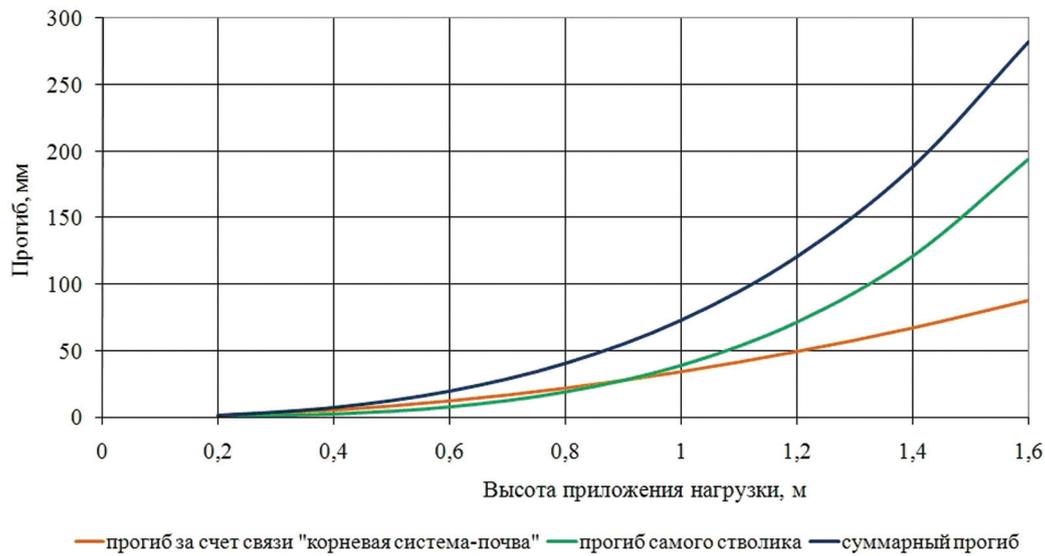


Рис. 3. Влияние заделки на прогиб стволика березы ($d_0 = 25,4$ мм, $H = 3,92$ м)
 Fig. 3. Effect of termination on the deflection of birch trunk ($d_0 = 25,4$ мм, $H = 3,92$ м)

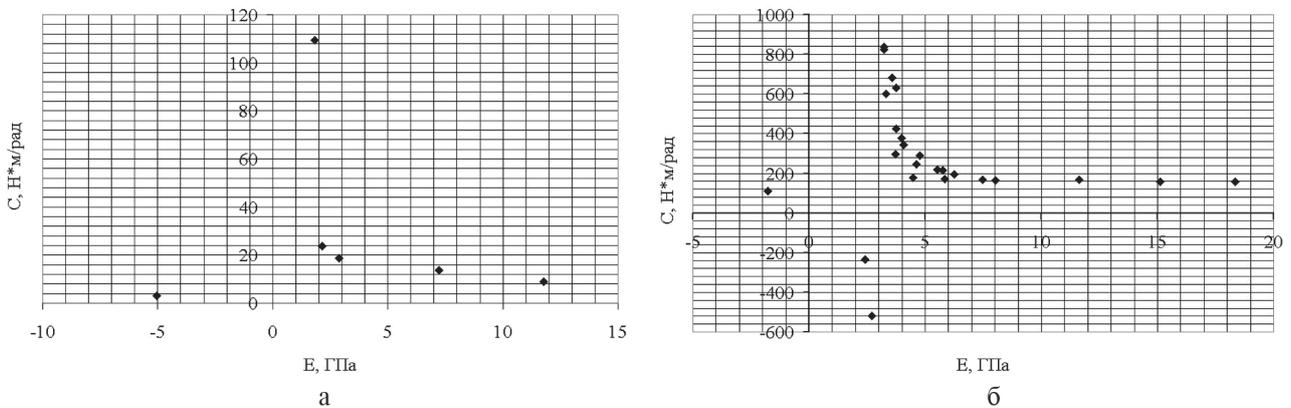


Рис. 4. Точечные диаграммы модуля упругости стволика и коэффициента жесткости корневой системы для березы
 Fig. 4. Scatter diagram stalk modulus and stiffness coefficient of the root system of birch

Т а б л и ц а 1

Значения модулей упругости и коэффициентов жесткости для березы ($d_0 = 25,4$ мм, $H = 3,92$ м)

The values of the elastic modulus and hardness factors for birch ($d_0 = 25,4$ мм, $H = 3,92$ м)

Интервал Δh , м	0,2–0,4	0,2–0,6	0,2–0,8	0,2–1,0	0,2–1,2	0,2–1,4	0,2–1,6
E , ГПа	-1,76	18,33	15,11	8,01	7,48	5,73	4,47
C , Н·м	111,6	157,6	158,9	165,3	166,4	171,3	177,5
Интервал Δh , м	–	0,4–0,6	0,4–0,8	0,4–1,0	0,4–1,2	0,4–1,4	0,4–1,6
E , ГПа	–	1,62	2,97	3,22	3,75	3,57	3,22
C , Н·м	–	-662,5	1039,7	838,7	630,3	681,2	836,0
Интервал Δh , м	–	–	0,6–0,8	0,6–1,0	0,6–1,2	0,6–1,4	0,6–1,6
E , ГПа	–	–	11,63	5,51	5,76	4,61	3,73
C , Н·м	–	–	169,4	218,8	213,6	245,5	297,6
Интервал Δh , м	–	–	–	0,8–1,0	0,8–1,2	0,8–1,4	0,8–1,6
E , ГПа	–	–	–	3,75	4,76	3,98	3,32
C , Н·м	–	–	–	426,5	289,0	377,5	600,6
Интервал Δh , м	–	–	–	–	1,0–1,2	1,0–1,4	1,0–1,6
E , ГПа	–	–	–	–	6,25	4,08	3,22
C , Н·м	–	–	–	–	194,8	343,1	825,2
Интервал Δh , м	–	–	–	–	–	1,2–1,4	1,2–1,6
E , ГПа	–	–	–	–	–	3,13	2,69
C , Н·м	–	–	–	–	–	-5209,7	-519,1
Интервал Δh , м	–	–	–	–	–	–	1,4–1,6
E , ГПа	–	–	–	–	–	–	2,40
C , Н·м	–	–	–	–	–	–	-235,9
$E_{\text{ср.}} = 4,55$ ГПа, $C_{\text{ср.}} = 177$ Н·м/рад							

Т а б л и ц а 2

Значения модулей упругости и коэффициентов жесткости для березы ($d_0 = 12,0$ мм, $H = 1,31$ м)

The values of the elastic modulus and hardness factors for birch ($d_0 = 12,0$ мм, $H = 1,31$ м)

Интервал Δh , м	0,2–0,4	0,2–0,6	0,2–0,8
E , ГПа	2,89	2,15	7,22
C , Н·м	18,7	23,6	13,7
Интервал Δh , м	–	0,4–0,6	0,4–0,8
E , ГПа	–	1,83	11,78
C , Н·м	–	109,3	9,0
Интервал Δh , м	–	–	0,6–0,8
E , ГПа	–	–	-5,04
C , Н·м	–	–	3,2
$E_{\text{ср.}} = 3,47$ ГПа, $C_{\text{ср.}} = 29,6$ Н·м/рад			

Т а б л и ц а 3

Значения модулей упругости и коэффициентов жесткости для осины ($d_0 = 14,8$ мм, $H = 1,67$ м)

The values of the elastic modulus and hardness factors for Aspen ($d_0 = 14,8$ мм, $H = 1,67$ м)

Интервал Δh , м	0,2–0,4	0,2–0,6	0,2–0,8	0,2–1,0
E , ГПа	4,09	95,22	22,47	-29,52
C , Н·м	11,7	10,6	10,7	10,4
Интервал Δh , м	–	0,4–0,6	0,4–0,8	0,4–1,0
E , ГПа	–	-6,01	-52,91	-12,29
C , Н·м	–	8,2	9,2	8,7
Интервал Δh , м	–	–	0,6–0,8	0,6–1,0
E , ГПа	–	–	11,42	-11,68
C , Н·м	–	–	12,1	9,5
Интервал Δh , м	–	–	–	0,8–1,0
E , ГПа	–	–	–	-6,49
C , Н·м	–	–	–	7,0
$E_{\text{ср.}} = 4,09$ ГПа, $C_{\text{ср.}} = 11,7$ Н·м/рад				

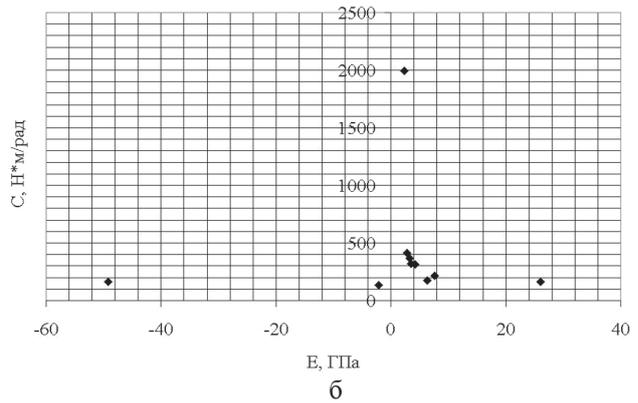
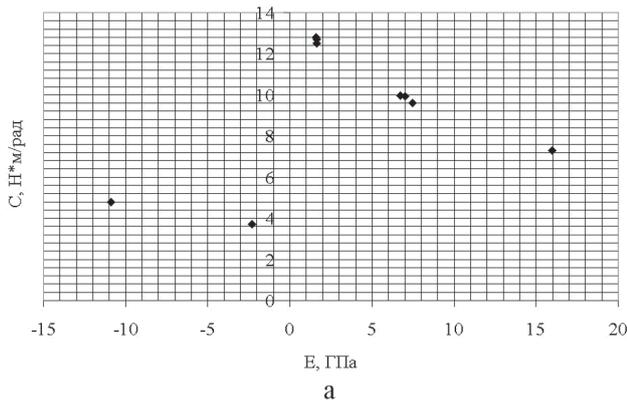


Рис. 5. Точечная диаграмма модуля упругости стволика и коэффициента жесткости корневой системы для осины ($d_0 = 24,5$ мм, $H = 1,41$ м)

Fig. 5. Scatter stalk modulus of elasticity and stiffness coefficient of the root system of the aspen ($d_0 = 24,5$ мм, $H = 1,41$ м)

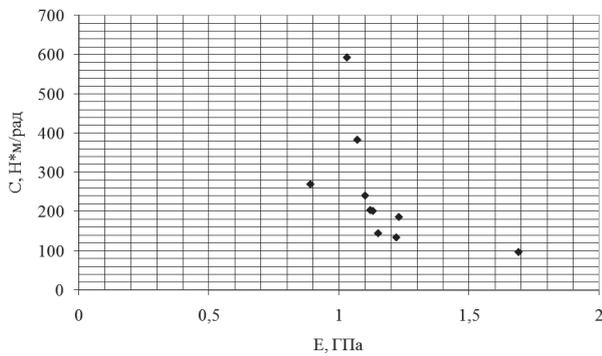


Рис. 6. Точечная диаграмма модуля упругости стволика и коэффициента жесткости корневой системы для ольхи

Fig. 6. Scatter modulus stalk stiffness coefficient of the root system for alder

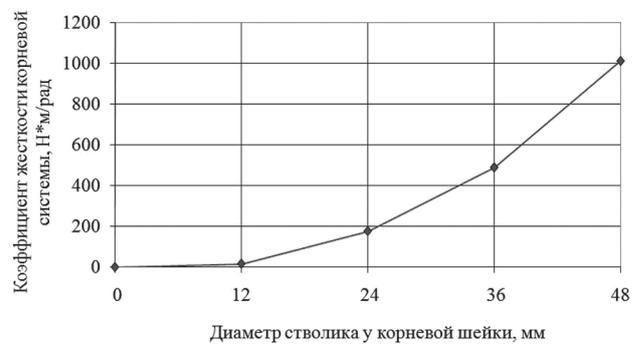


Рис. 7. Зависимость жесткости корневой системы березы от диаметра у корневой шейки

Fig. 7. Dependence of the hardness of birch root system of the diameter at the root collar

На основании полученных данных построены графики зависимости коэффициента жесткости корневой системы растения от диаметра стволика у корневой шейки. Пример графика представлен на рис. 7. Уравнения аппроксимации графика имеют вид

для березы –

$$C = 0,576d_0^2 - 6,88d_0 + 5,99; R^2 = 0,9993;$$

для осины –

$$C = 0,426d_0^2 - 5,3d_0 + 10,0; R^2 = 1,0000.$$

Таким образом, установлено, что коэффициент жесткости корневой системы изменяется пропорционально квадрату диаметра стволика у корневой шейки.

В заключение необходимо заметить, что предложенный неразрушающий метод определения упругих свойств растущих древесных растений дает примерно такие же результаты, как и другие методы, и при этом

учитывает жесткость корневой системы при их статическом изгибе.

Библиографический список

1. Coder, Kim D. Root Strength & Tree Anchorage. University of Georgia Warnell School of Forestry & Natural Resources monograph publication, 2010, 88 p.
2. Dupuy L.; Fourcaud T. & Stokes A. A numerical investigation into the influence of soil type and root architecture on tree anchorage. Proceedings of the First International Conference on Eco-Engineering, 13–17 September 2004. Springer Verlag, 2007, pp. 175–189.
3. Horacek Petr. Introduction to Tree Statics & Static Assessment. Department of Wood Science, Faculty of Forestry and Wood Technology Mendel University of Agriculture and Forestry Brno, Czech Republic, 1995, 69 p.
4. Koizumi, A.; Hirai, T.; Ryu, K.; Nakahara, M.; Araya, K.; Shimizu, H.: Wind damage resistance of Robinia pseudoacacia planted on the roadsides, Res. Bull. Hokkaido Univ. For., 64(2), 2007, pp. 105-112. (in Japanese with English summary)
5. Lundstrom T. Mechanical stability and growth performance of trees. PhD thesis no. 1644, University of Fribourg, Switzerland, 2010, 142 p.

6. Sterken P. A Guide for Tree-Stability Analysis. Second and expanded edition, 2005, 64 p.
7. Беляев, Н.М. Сопротивление материалов / Н.М. Беляев. – М.: Наука, 1976. – 608 с.
8. Котов, А.А. Совершенствование технологий и создание средств механизации для химического ухода в лесных питомниках и культурах: монография / А.А. Котов. – М.: МГУЛ, 2008. – 314 с.
9. Иванов, Г.А. Изменение модуля упругости березы по высоте / Г.А. Иванов, А.А. Котов // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы международной научно-технической конференции, 8–10 декабря 2009 г. – Вологда, ВоГТУ, 2010. – С. 155–159.
10. Иванов, Г.А. Коэффициент жесткости корневой системы дерева при статическом изгибе / Г.А. Иванов, А.А. Котов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 3. – 2011. – С. 98–102.
11. Пижурин, А.А. Исследования процессов деревообработки / А.А. Пижурин, М.С. Розенблит. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 232 с.

NON-DESTROYING METHOD OF RESEARCH OF ELASTIC PROPERTIES OF TREES PLANTS

Kotov A.A., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾

kotov@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

The mechanical property of unwanted woody vegetation directly affects the characteristics of working bodies of forestry vehicles. The study of these properties is a complex technical task. Often the problem statement is simplified, and many factors are not taken into account: the effect on the elastic properties of plants of the mechanical connection with the soil, the difference between the properties of growing plants from pre-cut ones, which leads to some errors. The mathematical model of a wood plant has been developed and the technique of the evaluation of the contribution of the root system and the soil, which provides elastic fastening, in the total rigidity of the plants in static bending. As an assumption the following facts were taken: trunks of plants have a shape similar to a cone with a small diameter at the base and a large height, laden with concentrated force and experiencing pure bending, the stiffness coefficient of the root system and the modulus of elasticity of the growing trunks are respectively constant at the rotational angle and height of the trunks. Dependences for the calculation of a full deviation of arbitrary point trunk a wood plant are established at a static bend due to deformation of a root system and ground and a deflection trunk under condition of absolutely anchorage. The analysis of these dependences has been executed. The system of the equations for the evaluation of elastic characteristics of a wood plant by non-destroying method has been received. Experimental acknowledgement of theoretical conclusions in the graphic form is submitted. Research has shown that the stiffness coefficient of the root system is proportional to the square of the diameter of the trunk at the root collar.

Key words: root system, trunk, a deflection, the module of elasticity, stiffness coefficient.

References

1. Coder Kim D. Root Strength & Tree Anchorage. University of Georgia Warnell School of Forestry & Natural Resources monograph publication, 2010, 88 p.
2. Dupuy L.; Fourcaud T. & Stokes A. A numerical investigation into the influence of soil type and root architecture on tree anchorage. Proceedings of the First International Conference on Eco-Engineering, 13–17 September 2004. Springer Verlag, 2007, pp. 175–189.
3. Horacek Petr. Introduction to Tree Statics & Static Assessment. Department of Wood Science, Faculty of Forestry and Wood Technology Mendel University of Agriculture and Forestry Brno, Czech Republic, 1995, 69 p.
4. Koizumi A.; Hirai T.; Ryu K.; Nakahara, M.; Araya, K.; Shimizu, H.: Wind damage resistance of Robinia pseudoacacia planted on the roadsides, Res. Bull. Hokkaido Univ. For., 64(2), 2007, pp. 105-112. (in Japanese with English summary)
5. Lundstrom T. Mechanical stability and growth performance of trees. PhD thesis no. 1644, University of Fribourg, Switzerland, 2010, 142 p.
6. Sterken P. A Guide for Tree-Stability Analysis. Second and expanded edition, 2005, 64 p.
7. Belyaev N.M. *Soprotivlenie materialov* [Resistance of materials]. Moscow, Nauka, 1976. 608 p.
8. Kotov A.A. *Sovershenstvovanie tehnologiy i sozdanie sredstv mehanizacii dlya himicheskogo uhoda v lesnyh pitomnikah i kul'turah* [Perfection of technologies and creation of means of mechanization for chemical care in forest farm and cultures]. Moscow, MGUL, 2008. 314 p.
9. Ivanov G.A., Kotov A.A. *Izmenenie modulya uprugosti berezy po vysote* [Change of the module of elasticity of a birch on height]. Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa: materialy mezhduna-rodnoy nauchno-tehnicheskoy konferencii, 8–10 dekabrya 2009 g. [Actual problems of development of a forest complex: materials of the international scientific and technical conference, on December, 8-10, 2009.]. Vologda, VoGTU, 2010, pp. 155-159.
10. Ivanov G.A., Kotov A.A. *Koeffitsient zhestkosti kornevoy sistemy dereva pri staticheskom izgibe* [Stiffness coefficient of root system of a tree at a static bend]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik. 2011, N. 3, pp. 98-102.
11. Pizhurin A.A., Rozenblit M.S. *Issledovaniya processov derevoobrabotki* [Researches of processes of woodworking]. Moscow: Lesn. prom-st', 1984. 232 p.

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА В КОНТЕКСТЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ СЕГМЕНТОВ ЛЕСНОГО СЕКТОРА РЕГИОНА

Г.П. БУТКО, *проф.*, *Уральский государственный лесотехнический университет, д-р экон. наук*⁽¹⁾,
В.И. ЗАПРУДНОВ, *проф.*, *МГУЛ, д-р техн. наук*⁽²⁾,
А.А. ГРЕЧИЦ, *асп.*, *Уральский государственный лесотехнический университет*⁽¹⁾,
Е.Д. ТИХОНОВ, *асп.*, *Уральский государственный лесотехнический университет*⁽¹⁾

gpbutko@mail.ru, zaprudnov@mgul.ac.ru, alena-grechits@rambler.ru, evgeny.d.tikhonov@mail.ru

⁽¹⁾ Уральский государственный лесотехнический университет
620038, РФ, г.Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

⁽²⁾ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1

Внедрение системы экологического менеджмента (СЭМ) на предприятиях ЛПК позволит сформировать четкий механизм ресурсосбережения для отдельных хозяйствующих субъектов, который позволит решать задачи ресурсосбережения и устойчивого развития на уровне национальной или региональной экономики. Акцентировано внимание на проблеме экологически устойчивого развития с позиции внедрения системы экологического менеджмента (СЭМ). Определена роль анализа действующего механизма управления природоохранной деятельностью предприятий при его низкой эффективности в современных условиях. Проблема ресурсосбережения и устойчивого развития освещена с позиции многосторонней значимости, которая при этом широко осознается, ей посвящено достаточно много исследований, прежде всего в рамках разработки концепции «устойчивого развития». В «Повестке дня на 21 век» в качестве основных условий устойчивого развития названы следующие: стабилизация численности населения; отказ от излишеств потребления; минимизация удельных расходов сырья и энергии при всех видах производства; экологизация промышленного производства, энергетики, сельского хозяйства, транспорта, быта; замена, где это возможно, невозобновимого сырья возобновимым; наблюдение за состоянием окружающей среды. Большое значение приобретает развитие науки в решении ставших перед человечеством проблем; международное и государственное регулирование и стимулирование экологической или экономической политики. Индикаторы устойчивого развития должны отражать экономические, социальные и экологические аспекты удовлетворения потребностей современного поколения без ограничения потребностей будущих поколений по удовлетворению собственных потребностей. В работе отмечается необходимость разработки нормативов для индикативного планирования, так как лесные ресурсы возобновляемы. Индикаторы, связанные с ресурсосбережением, должны использоваться в качестве базовых при планировании и принятии управленческих решений. В результате они должны стать и лимитирующими, позволяющими в дальнейшем трансформировать количественный рост в качественный. Для отдельных сегментов лесопромышленных предприятий внедрение СЭМ предполагает, в первую очередь, преодоление системного (социо-эколого-экономического) кризиса и формирование экосистемы как многоэтапного логически связанного процесса.

Ключевые слова: ресурсосбережение, СЭМ, эколого-экономическая система, устойчивое развитие, сегменты лесного сектора.

В России 1 апреля 1996 г. вышел указ Президента Российской Федерации № 440 «О концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию». В документе определена актуальность проблемы, отмечены вызовы дальнейшего развития, стоящие как перед всем человечеством, так и Россией. Поставлены задачи и определены общие направления устойчивого развития. В качестве одной из целей отмечена необходимость массового внедрения энерго- и ресурсосберегающих технологий, направленных на изменение структуры экономики. Регулирование процесса перехода к устойчивому развитию должно осуществляться через разра-

ботку системы программных и прогнозных документов, при этом требуется создание системы взаимодействия между федеральным центром и регионами. В каждом регионе предполагается создание программ перехода к устойчивому развитию и формирование на их основе политики в области устойчивого развития. При разработке данных региональных программ необходим всесторонний учет местных особенностей, что также приводится в документе. Приводится перечень необходимых критериев устойчивого развития. В основу положен принцип – никакая деятельность не может быть оправдана, если выгода не превышает вызываемого ущерба.

Цели должны быть выражены в показателях трех составных частей устойчивого развития: экономической, социальной и экологической.

Как известно, природные ресурсы, будучи ограниченными и при этом востребованными любым хозяйственным процессом, имеют установленную рыночными условиями цену. Рациональным поведением для производителя является осуществление дальнейшего роста производства материальных благ при сохранении либо сокращении темпа потребления природных ресурсов, т. е. при условии ресурсосбережения [1–3]. Ресурсосбережение может осуществляться за счет более полного использования природных ресурсов, что означает уменьшение потерь на всех этапах ресурсного цикла: добыча, первичная обработка, транспортировка, производство, использование, утилизация материального объекта [4]. Управление ресурсосбережением должно осуществляться комплексно, на всех этапах ресурсного цикла, с учетом различных взаимосвязанных факторов, учитывающих, в частности, финансово-экономические, технологические, экологические возможности и условия.

В условиях формирования трансформационной экономики отсутствует четкий механизм ресурсосбережения, позволяющий связывать цели, ставящиеся на уровне национальной или региональной экономики, с целями и программами ресурсосбережения. Как правило, такая ситуация связана с отсутствием практической необходимости данной деятельности, что, в свою очередь, связано с прежней административной экономикой, когда деятельность отдельных предприятий оценивалась иногда по валовому объему освоенных ресурсов. Несмотря на значимость ресурсосбережения, существует проблема формирования конкретных управленческих методов ресурсосбережения, позволяющих реализовывать стратегию ресурсосбережения на национальном либо региональном уровне, с учетом взаимодействия с отдельными предприятиями различных форм собственности. Следует отметить, что национальные стратегии ре-

сурсосбережения приняты в целом ряде стран, но эффективность методов по их достижению имеет ряд нерешенных вопросов. Когда общество заинтересовано в высоком уровне экологической безопасности, всё более значимым становится развитие системы экологического менеджмента (СЭМ) как успешного зарекомендовать себя инструмента, позволяющего достигать поставленные цели в соответствии с концепцией устойчивого развития.

Экологически устойчивое развитие требует внедрения системы экологического менеджмента (СЭМ). Более того, анализ действующего механизма управления природоохранной деятельностью предприятий обнаруживает его низкую эффективность [4–5, 9]. Сама проблема ресурсосбережения и устойчивого развития при этом широко осознается, ей посвящено достаточно много исследований, прежде всего в рамках разработки концепции «устойчивого развития» [5–7].

Одной из первых крупных работ, где была оценена важность ресурсного фактора для развития мировой экономики, является доклад Римского клуба «Пределы роста», подготовленный командой Д. Медоуза [8]. В нем приведена модель по пяти основным направлениям динамики мировой экономики: индустриализация, рост населения, нарастание продовольственных проблем, истощение ресурсов, ухудшение окружающей среды. Понятие «устойчивое развитие» впервые приведено в 1987 г. в докладе международной комиссии по охране окружающей среды и развитию «Наше общее будущее». Согласно ему, устойчивое развитие – это развитие, в которое включены забота об окружающей среде, справедливое распределение ресурсов, а также забота о благополучии будущих поколений. Это развитие, которое основывается на возобновляемых ресурсах и при котором тщательно управляют ресурсами и потоками вещества. В концепции устойчивого развития особую значимость приобретает региональный аспект.

В «Повестке дня на 21 век» в качестве основных условий устойчивого развития

названы следующие: стабилизация численности населения; отказ от излишеств потребления; минимизация удельных расходов сырья и энергии при всех видах производства; экологизация промышленного производства, энергетики, сельского хозяйства, транспорта, быта; замена, где это возможно, невозобновимого сырья возобновимым; наблюдение за состоянием окружающей среды. Большое значение приобретает развитие науки в решении ставших перед человечеством проблем; международное и государственное регулирование и стимулирование экологической или экономической политики. Индикаторы устойчивого развития должны отражать экономические, социальные и экологические аспекты удовлетворения потребностей современного поколения без ограничения потребностей будущих поколений по удовлетворению собственных потребностей. Чтобы развитие могло считаться устойчивым, оно должно осуществляться с учетом достижения экономического роста, но при обеспечении его сбалансированности с потребностями общества по улучшению качества жизни и предотвращению деградации окружающей среды. В данном случае речь идет о принципах новой экономики (5-й принцип). В документе отмечается: «В целях создания надежной основы для процесса принятия решений на всех уровнях и содействия облегчению саморегулируемой устойчивости комплексных экологических систем и систем развития необходимо разрабатывать показатели устойчивого развития» (гл. 40 «Повестка дня на 21 век» [10]).

На второй конференции, посвященной устойчивому развитию, проходившей в Йоханнесбурге (ЮАР) с 26 августа по 4 сентября 2002 г., была принята декларация, в целом подтверждавшая принципы, принятые десятилетием ранее в Рио-де-Жанейро. В плане выполнения решений, утвержденных на данной конференции, была отмечена необходимость регионального подхода при принятии решений, выборе методов устойчивого развития: «Поощрять и продолжать на политическом и стратегическом уровнях и на уровне проектов разработку методоло-

гий принятия решений по вопросам устойчивого развития на местном и национальном уровнях и, когда это уместно, на региональном уровне». 20–22 июня 2012 г. в Рио-де-Жанейро прошла третья конференция ООН по устойчивому развитию. Основным итоговым результатом конференции стал документ «Будущее, которое мы хотим». В его рамках еще большая роль была отведена региональному подходу при реализации устойчивого развития. Предложено не только национальным, но и региональным и местным органам власти принять собственные стратегии по устойчивому развитию, а также своевременно получать необходимую информацию для принятия необходимых решений: «Мы рекомендуем соответствующим региональным, национальным, субнациональным и местным органам власти в соответствующих случаях разрабатывать и применять стратегии устойчивого развития в качестве ключевых инструментов для руководства процессом принятия решений и обеспечения устойчивого развития на всех уровнях, и в этой связи признаем важность интегрированных данных и информации по социальным, экономическим и экологическим вопросам, а также эффективного анализа и оценки хода осуществления для процесса принятия решений. Мы обращаем особое внимание на необходимость более согласованного комплексного планирования и принятия решений соответственно на национальном, субнациональном или местном уровне» [10]. Особая роль в достижении поставленных целей устойчивого развития отводится так называемой «зеленой» экономике. Предполагается, что в ее рамках произойдет снижение потребления природных ресурсов и уменьшится отрицательное воздействие на окружающую среду. «Зеленая» экономика в контексте устойчивого развития и ликвидации нищеты укрепит нашу способность рационально использовать природные ресурсы с меньшими отрицательными последствиями для окружающей среды.

Безусловно, для лесного сектора экономики следование такой установке позволит повысить эффективность использования

лесных ресурсов и уменьшить количество отходов. Для мониторинга процесса перехода к устойчивому развитию потребуются индикаторы, позволяющие проводить соответствующую оценку. Использование их необходимо при планировании и принятии решений.

По мнению авторов, основой экологических критериев должны стать показатели, связанные с качеством окружающей среды: состояние атмосферы, водных объектов, биоразнообразия особо охраняемых территорий и ряд других. В рамках экономической системы основным критерием предлагается считать полную природоёмкость лесного сектора экономики. В данном случае рекомендуется использовать целый комплекс критериев, основной из которых – уровень потребления лесных ресурсов на единицу произведенной продукции. При необходимости также можно пользоваться показателями, характеризующими соотношение между уровнем использования природных ресурсов и их наличием в данном регионе. В качестве лимитирующих (ограничивающих) параметров предлагается установить удельное потребление природных ресурсов на душу населения или валового внутреннего продукта. Согласно такому документу, схожие системы показателей должны использоваться при планировании и прогнозировании развития каждым субъектом РФ. Лесные ресурсы возобновляемые, поэтому требуются нормативы для индикативного планирования. Индикаторы, связанные с ресурсосбережением, должны использоваться в качестве базовых при планировании и принятии управленческих решений. В результате они должны стать и лимитирующими, позволяющими в дальнейшем трансформировать количественный рост в качественный. Создание системы индикаторов ресурсосбережения на федеральном и региональном уровнях в России является одним из шагов формирования первого этапа устойчивого развития. Это позволяет в дальнейшем заниматься прогнозированием, планированием необходимых изменений в программах развития лесного сек-

тора экономики на основе инновационного подхода.

Для лесопромышленных предприятий внедрение СЭМ предполагает, в первую очередь, преодоление системного (социо-эколого-экономического) кризиса и формирование экосистемы как многоэтапного логически связанного процесса. Первым этапом ее формирования является разработка Национальной лесной политики с определением цели и задачи функционирования лесного сектора, а также согласованные всеми участниками лесных отношений приоритетные направления деятельности государства и бизнеса, обеспечивающие достижение целей и решение поставленных задач. Комплекс проблем должен рассматриваться не только в сфере лесного хозяйства, лесопользования и лесопереработки, но и связанных с их решением транспортных, энергетических, экологических и социально-экономических проблем.

Стремление объединять в оценке качества потребительские свойства продукции не согласуются с МС ISO серии 9014. Существуют и объективные трудности, препятствующие повышению уровня конкурентоспособности российской лесопродукции на отечественном рынке, а именно, повышение себестоимости продукции из-за роста цен на энергоносители и транспортные тарифы.

В мировой практике широко применяются технические меры защиты и регулирования рынков экспортных товаров. В их числе установление технических требований, стандартов качества, стандартных процедур измерений и аудита, правил маркировки, упаковки и т. д. В этой связи на более отдаленную перспективу долгое время разрабатывалась стратегия нетарифного регулирования лесопромышленного экспорта на базе введения сертификации систем качества по стандартам ГОСТ ISO 9000-9004(9014) на предприятиях лесного сектора, экспортирующих лесобумажную продукцию. Устанавливая правила и осуществляя инспекционный контроль за сертифицированными системами качества (производств) и услуг через данную систему, можно сделать экономически невыгодной

практику нечестной конкуренции, нарушения правил, нанесения ущерба государственным интересам. Также следует ограничить активность мелких, непрофессиональных экспортеров и отдать основной поток экспортных товаров ограниченному кругу предприятий и предприятий, находящихся под постоянным контролем структур системы сертификации. Особо следует отметить следующее: базирясь на международно признанной системе стандартов ISO 9000(9014), можно через сертификацию лесопромышленного экспорта отвести обвинения в ограничении свободы торговли, обеспечить порядок внутри страны и в отношении неквалифицированных участников рынка.

Разработанные международные экологические директивы в виде серии ISO 14000, определяют природоохранную деятельность предприятий в XXI в. Отметим тенденцию перехода от национальных к международным требованиям по обеспечению качества продукции, охране лесных ресурсов (требования Хелком, нормы северных стран).

Мировая практика на основе экономических санкций и законодательных актов стимулирует предприятия к переходу на экологически безопасные технологии в полном соответствии с техническими регламентами. Ошибки в отдельных стандартах для производителей целлюлозно-бумажной продукции (ЦБП) привели к значительному ущербу. Качество продукции ЦБП подтверждает необходимость нормирования выбросов в атмосферу, учет которых последние 10 лет незначителен. На отечественных предприятиях этот показатель в 20–25 раз больше, чем на лучших зарубежных предприятиях. В США и Германии разработаны нормы контроля за газовыми выбросами от ЦБП.

По нашему мнению, необходимо создать условия адаптации отечественных производителей лесопроductии к техническим требованиям иностранных покупателей. Прежде всего – учет требований стандартов СЕН, ДЖАС.

Рассмотрим параметры качества продукции. Среди федеральных законов важное место занимает закон РФ «Об обеспече-

нии единства измерений». Введена единая система учета экспортной оценки товаров. Экспертную оценку проводят российские и иностранные специалисты. Эту деятельность осуществляли такие субъекты, как ЗАО «Леспромсертика», аккредитованное в системе «Промсертика» в качестве органа по сертификации продукции и систем качества. С 1996 г. в рамках Единой системы экспертной оценки количества и качества экспортируемых товаров проводит оценку экспортируемых лесоматериалов. Область аккредитации ЗАО «Леспромсертика» включает круглые лесоматериалы, пиломатериалы, фанеру, паркет, целлюлозу, бумагу, картон, обои, бумажные товары и сертификацию систем качества производства деловой древесины и продукции целлюлозно-бумажной промышленности [3].

Поддержание высокого уровня экологической ответственности лесопользователей является одним из ключевых элементов цивилизованного бизнеса. Получение рейтинговой оценки дает возможность компаниям выйти на качественно новый уровень с партнерами, инвесторами и потребителями, формируя благоприятный имидж в деловых кругах. В настоящее время рейтинг экологической ответственности присваивается на основании их национальной рейтинговой шкалы, однако уже ведется работа по признанию методики экорейтинга на международном уровне, что даст возможность российским компаниям, занятым в лесном комплексе, заявить о себе на мировом рынке.

Анализ документов по экологической устойчивости и лесным политикам зарубежных стран показал, что они имеют ряд общих черт и особенностей. Прежде всего, документы утверждаются правительством страны с учетом ориентации на спрос внутри страны и за рубежом.

Внедрение СЭМ позволяет управлять экологической устойчивостью предприятия и, как следствие, получать прямые и косвенные выгоды (рисунок).

Мероприятия, направленные на улучшение экологической ситуации, отражаются на показателе экологической устойчивости,



Рисунок. Выгоды от внедрения экологического менеджмента
 Figure. The benefits of the introduction of environmental management

увеличивая при этом стоимость предприятия, что, в свою очередь, повышает его инвестиционную привлекательность.

Экологическая составляющая имеет существенную взаимосвязь со стоимостью предприятия, следовательно, экологическая стоимость будет влиять на рыночную стоимость предприятия и, следовательно, представлять собой часть общей стоимости предприятия (стоимости его собственного капитала), формируемой в результате экологической деятельности предприятия и демонстрирующей уровень его экологической устойчивости. Трудоемкость работ по определению данной части стоимости оправдывается получением возможности объективно оценить результативность экологической деятельности предприятия и определить ее вклад в создание общей стоимости бизнеса. По замыслу, при суммировании экологической стоимости с другими составляющими и учетом эмерджентности системы должна получиться общая стоимость бизнеса (предприятия).

В соответствии с отмеченным в качестве очередного этапа развития экологического менеджмента на предприятии (при условии существования СЭМ) целесооб-

разно рассматривать формирование стоимости-ориентированного экологического менеджмента, целевой установкой которого является увеличение экологической стоимости предприятия, способствующее росту корпоративной стоимости в целом.

С точки зрения процесса «экологический менеджмент включает ряд таких функций, как экологический маркетинг, планирование, организацию, регулирование, мотивацию, контроль и учет природопользования и природоохранных мероприятий».

Обязательная постановка экологических целей в качестве приоритетов организации ни в коей мере не отменяет экономические цели, стремление максимизировать доходность. Однако ограниченность ресурсов ведет к установлению равновесия между различными, зачастую противоречивыми, целями. Для достижения компромисса необходимо ресурсы определять еще на стадии планирования.

При определении экологического менеджмента следует исходить из положения о наличии экологической инициативы у экономического субъекта. Целесообразно четко разграничить различные типы экологического управления. Для этого в опреде-

лении систем экологического менеджмента региона предлагается зафиксировать момент об активной позиции природопользователя при решении экологических проблем региона. Несмотря на то, что отдельные авторы указывают на такое подразделение систем управления, в общих определениях систем экологического менеджмента отсутствует информация об этом, что ведет к некоторым проблемам в понимании сущности описываемого явления. Включение в определение положения о реализации ценностной ориентации на достижение устойчивого развития региона способно устранить сложности идентификации систем экологического менеджмента региона как самостоятельного объекта и выделить ее относительно других форм управления. В определении системы экологического менеджмента, которое приведено в ГОСТ Р ИСО 14001, указывается, что экологический менеджмент является частью общей системы административного управления предприятия и имеет свою внутреннюю организованную структуру. Тем не менее, в нем отсутствуют положения об изменении ценностной ориентации экономической деятельности в сторону достижения устойчивого развития региона, хотя они необходимы для наиболее полного раскрытия сущностных характеристик систем экологического менеджмента региона. С учетом данных изменений определение системы экологического менеджмента региона будет выглядеть следующим образом: это часть общей системы регионального административного управления, реализующая ценностную ориентацию на достижение устойчивого развития региона, которая включает унифицированную организационную структуру и направлена на поддержание экологической политики организации и региона.

Миссия экологического менеджмента устанавливается государством на основе нормативных актов. Социально ответственные руководители являются исполнителями закона. Такой подход к решению проблемы является наиболее полным и раскрывающим все моменты, упущенные ранее. В частности, присутствуют положения о том, что сис-

тема экологического менеджмента региона является частью общей системы управления, имеет собственную внутреннюю структуру, включающую планирование с учетом эколого-экономических критериев, ответственность персонала, методы работы, установленные процедуры и процессы, а также выделенные для этого ресурсы.

Реализация данных положений осуществляется через документально оформленную экологическую политику, в которой фиксируются важные общие принципы деятельности в области ресурсосбережения и защиты окружающей среды. При необходимости политика анализируется и корректируется с целью достижения общей концептуальной цели устойчивого развития региона.

Библиографический список

1. Бутко, Г.П. Предпосылки возникновения экологического менеджмента / Г.П. Бутко, А.А. Гречиц // Аграрный вестник Урала. – 2011. – № 5 (84). – С. 55–57.
2. Бутко, Г.П. Формирование системы экологического менеджмента на предприятии / Г.П. Бутко, А.А. Гречиц // Известия УрГЭУ – № 5(37). – 2011. – С. 50–54.
3. Бутко, Г.П. Качество как основной фактор механизма управления конкурентоспособностью / Г.П. Бутко, А.В. Мехренцев // Технология легкой промышленности. Научный журнал. – № 1. – 2012. – Том 15. – С. 74–79.
4. Даванков, А.Ю. Общественное благосостояние территориальных сообществ: теоретико-методологические подходы / Т.А. Верещагиной, Ю.А. Даванкова. – Челябинск: ЧелГУ, 2008. – 204 с.
5. Каленюк, А.А. Системный подход к управлению ресурсосбережением на промышленном предприятии / А.А. Каленюк // Новости научного прогресса сб. науч. трудов; Международная научно-практическая конференция. – София, Болгария. Бял ГРАД-БГ, 2009.
6. Кожухов, Н.И. Бемманн А. Общемировые процессы и механизмы устойчивого развития лесного хозяйства в системе ресурсно-пространственного размещения бизнес-структур многоцелевого использования/ Н.И. Кожухов, А. Бемманн // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – № 4 (96). – С. 106–110.
7. Кожухов, Н.И. Экономический ландшафт как основа пространственного анализа устойчивого развития лесного и аграрного секторов региона / Н.И. Кожухов, Л.И. Кожухова, Н.Я. Крупинин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2014. – № 3. – С. 106–110.
8. Медоуз, Д. За пределами роста / Д. Медоуз, Й. Рандерс. – М.: Прогресс, Пангея, 1994. – 304 с.
9. Мирзеханова, З.Г. Ресурсоведение / З.Г. Мирзеханова. – Владивосток: ДВО РАН, 2008. – 363 с.
10. Повестка дня на 21 век. Принята конференцией ООН по окружающей среде и развитию, Рио-де-Жанейро, 3–4 июня 1992г. www.un.org/russian/conferen/wssd/agenda21/, свободный. – 15.01.2014.

ECO-ECONOMIC SYSTEM IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT
SEGMENTS OF THE FOREST SECTOR OF THE REGION

Butko G.P., Prof. Ural state forest engineering universit, Dr. Sci. (Econ.)⁽¹⁾; **Zaprudnov V.I.**, Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.)⁽²⁾; **Gresic A.A.**, pg. Ural state forest engineering universit⁽¹⁾; **Tikhonov E.D.**, pg. Ural state forest engineering universit⁽¹⁾

gpbuto@mail.ru, zaprudnov@mgul.ac.ru, alena-grechits@rambler.ru, evgeny.d.tikhonov@mail.ru

⁽¹⁾Ural state forest engineering universit, Ekaterinburg, Russia, 620030, Ekaterinburg, Sibirsky Tract, 37)

⁽²⁾Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

The introduction of an environmental management system (EMS) for forestry enterprises will allow to form a clear mechanism of resource for individual businesses, which will allow to solve problems of resource saving and sustainable development, standing at the level of national or regional economy. The attention is focused on the issue of environmentally sustainable development from the perspective of implementation of the environmental management system (EMS). The role of analysis of the existing mechanism of environmental management of enterprises when its low efficiency in modern conditions. The problem of resource saving and sustainable development lit with multilateral positions of its significance, which, however, is widely recognized, she devoted quite a lot of research, especially in the context of the development of the concept of «sustainable development». In «Agenda 21» as the main conditions of sustainable development are the following: stabilization of the population; the rejection of the excesses of consumption; minimizing specific costs of raw materials and energy for production; the greening of industrial production, energy, agriculture, transport, life; replacement where possible of non-renewable renewable raw materials; monitoring the state of the environment. Of great importance is the development of science in the solution became to humanity problems; international and national regulations and incentives for environmental or economic policy. Sustainable development indicators should reflect economic, social and environmental aspects meet the needs of current generation without restricting the needs of future generations to meet their own needs. The authors note the need for developing standards for indicative planning of forest resources are renewable. Indicators related to resource conservation, should be used as a base for planning and decision-making. As a result, they have become limiting, allowing to transform quantitative growth into qualitative ones. For individual segments of the timber industry enterprises, the implementation of an EMS involves primarily the overcoming of the system (socio-ecological-economic) crisis and the formation of ecosystems as a multi-stage logically associated process.

Keywords: saving, SAM, ecological-economic system, sustainable development, segments of the forest sector.

References

1. Butko G.P. Grechits A.A. *Predposylki vozniknoveniya ekologicheskogo menedzhmenta* [Background environmental management]. Agrarian Bulletin of Ural № 5 (84). May 2011. pp. 55-57.
2. Butko G.P. Grechits A.A. *Formirovanie sistemy ekologicheskogo menedzhmenta na predpriyatii* [Formation of the environmental management system at the enterprise]. News USUE No. 5 (37) 2011. pp. 50-54.
3. Butko G.P., Mekhrentsev A.V. *Kachestvo kak osnovnoy faktor mekhanizma upravleniya konkurentosposobnost'yu* [Quality as the main factor controlling mechanism by competitiveness]. Technology of Light Industry . Scientific journal № 1 2012. Vol. 15. pp. 74–79 .
4. Davankov A.Yu. *Obshchestvennoe blagosostoyanie territorial'nykh soobshchestv: teoretiko-metodologicheskie podkhody* [Social welfare territorial communities: theoretical and methodological approaches]. Chelyabinsk: ChSU, 2008. 204 p.
5. Kalenyuk A.A. *Cistemnyy podkhod k upravleniyu resursoberezheniem na promyshlennom predpriyatii* [News of scientific progress collected scientific articles. proceedings of the international scientific-practical conference]. Sofia, Bulgaria. Ball HAIL-BG, 2009.
6. Kozhukhov N.I. Bemmann A. *Obshchemirovye protsessy i mekhanizmy ustoychivogo razvitiya lesnogo khozyaystva v sisteme resurno-prostranstvennogo razmeshcheniya biznes-struktur mnogotselevogo ispol'zovaniya* [Obschemirovye processes and mechanisms for sustainable forest management in the system resurno – spatial distribution businesses multi-use]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik. 2013. № 4 (96). pp. 106–110.
7. Kozhukhov N.I., Kozhukhova L.I., Krupinin N.Ya. *Ekonomicheskiy landshaft kak osnova prostranstvennogo analiza ustoychivogo razvitiya lesnogo i agrarnogo sektorov regiona* [Economic landscape as a basis for spatial analysis of sustainable forest and agricultural sectors in the region]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik. 2014. N. 3. pp. 106–110.
8. Medouz D., Randers Y. *Za predelami rosta* [Beyond growth]. Moscow: Progress, Pangaea, 1994. 304 p.
9. Mirzekhanova Z.G. *Resursovedenie* [Resources]. Vladivostok: Eastern branch of Russian Academy of Sciences, 2003. 363 c.
10. Agenda 21. Adopted by the UN conference on environment and development, Rio de Janeiro, June 3-4, 1992. Access mode: www.un.org/russian/conferen/wssd/agenda21/ free. 15.01.2014.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОГО И НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОСПРОИЗВОДСТВА ЛЕСОВ

Е.Н. КУЛАКОВА, *асп., ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова*⁽¹⁾,

М.П. ЧЕРНЫШОВ, *проф., ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, д-р с.-х. наук*⁽¹⁾,

С.И. ДЕГТЯРЕВА, *доц., ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, канд. биол. наук*⁽¹⁾

kulakova_92@list.ru, degtjarewa-lana@yandex.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
394087, Российская Федерация, город Воронеж, ул. Тимирязева, 8

Леса России представляют собой значительный ресурсный и экологический потенциал. Россия – лидер по площади лесов, на ее долю приходится 20,1 % общей площади лесов мира. По данным государственного лесного реестра на 01.01.2015 г., общая площадь земель Российской Федерации, занятая лесами, составила 1183,3 млн га, из которых на земли лесного фонда приходится 1144,1 млн га. Земли лесного фонда – масштабный объект государственной собственности, представляющий многоликую совокупность лесных и нелесных земель в границах, установленных в соответствии с лесным и земельным законодательством. Леса были и остаются важнейшим общенациональным природным ресурсом России и гарантом ее экологической безопасности. Однако Россия как крупнейший на планете Земля собственник лесов должна быть заинтересована не только в многоцелевом, непрерывном и неистощительном использовании лесов и лесных ресурсов, обеспечивающем поступления платы за них в федеральный и региональный бюджеты, но и в их устойчивом, своевременном и качественном воспроизводстве. Сложившаяся с воспроизводством лесов ситуация далека от совершенства как с точки зрения ее правового и нормативного обеспечения, так и с позиции научно-методического сопровождения сложных процессов естественного, искусственного и комбинированного лесовосстановления. Необходимо безотлагательно разработать адаптированную к рыночным отношениям «Концепцию опережающего, устойчивого и качественного воспроизводства защитных и эксплуатационных лесов Российской Федерации на зонально-типологической и селекционно-генетической основе». Она должна включать принципы, цели и задачи воспроизводства лесов, а также правовые режимы и рыночные механизмы, обеспечивающие устойчивый рост лесистости территорий субъектов РФ за счет увеличения площади насаждений хозяйственно ценных хвойных и твердолиственных древесных пород, повышение их качества, продуктивности и устойчивости. В свою очередь, для успешной реализации этой концепции воспроизводства лесов необходима четкая государственная лесная политика, совершенное лесное законодательство и эффективная система управления лесами.

Ключевые слова: Лесной кодекс Российской Федерации, лесное законодательство, нормативные правовые акты, земли лесного фонда, воспроизводство лесов, лесовосстановление.

В настоящее время важнейшая роль в системе управления лесным хозяйством Российской Федерации принадлежит лесному законодательству. Оно состоит из Лесного кодекса РФ (введенного в действие с 1 января 2007 г. и многократно дополненного), других федеральных законов и принимаемых в соответствии с ними законов субъектов РФ, а также иных подзаконных нормативных правовых актов, регулирующих лесные отношения (Лесной кодекс Российской Федерации 1997, 2006).

Участниками лесных отношений являются Российская Федерация, субъекты РФ, муниципальные образования, граждане и юридические лица.

Новый Лесной кодекс РФ закрепил право государственной (федеральной) собственности на лесные участки в составе земель

лесного фонда. Формы собственности на лесные участки в составе земель иных категорий определяются в соответствии с земельным законодательством. В целях реализации лесной политики в сфере воспроизводства лесов Правительством РФ принят ряд постановлений и решений о развитии лесного хозяйства на период до 2020 г.

Согласно статье 61 Лесного кодекса РФ, воспроизводство лесов осуществляется путем лесовосстановления и ухода за лесами. Оно осуществляется органами государственной власти и местного самоуправления в пределах их полномочий, определенных в соответствии со статьями 81–84 Лесного кодекса РФ, а также лицами, использующими леса на основании договора аренды лесного участка, либо на правах постоянного (бессрочного) пользования или безвозмездного пользования.

Динамика лесовосстановления по субъектам РФ
The dynamics of reforestation by region, Russia

Субъекты РФ	Площадь лесовосстановления по годам, га /в т. ч. лесные культуры				
	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.
Белгородская обл.	205/205	99,5/99,5	258/258	343/343	449/449
Воронежская обл.	1137/1002	1141/1042	1797/1335	2987/2454	2708/2199
Курская обл.	491/383	412,2/253	474,9/393	612/573	574/564
Липецкая обл.	408/408	388/378	1360/1309	1494/1292	1418/1359
Орловская обл.	200/165	275/23	305,5/71	103/103	7/7
Тамбовская обл.	1002/1002	798/798	1200/1200	1250/1250	930/930
Республика Калмыкия	1200/1200	1150/1150	925/925	880/630	1000/630
Астраханская обл.	115/41	50/36	45/30	58/45	69/55
Волгоградская обл.	2429/2163	1811/1811	1974/1974	1300/1300	1075/1075
Ростовская обл.	1500/1500	1500/1500	2121/2121	1517/1517	1500/1500
Ставропольский край	611/275	382/259	610/502	400/400	300/300
Оренбургская обл.	756/703	1061/1022	950/940	1027/977	972/922
Самарская обл.	1390/1100	1220/961	1190/1090	1150/902	1079/1038
Саратовская обл.	1779/1779	1496/1496	2015/1941	1481/1345	2045/1259

Таким образом, воспроизводством лесов одновременно занимаются несколько разностатусных субъектов лесных отношений, имеющих разную мотивацию и экономическую заинтересованность в осуществлении своевременного и качественного лесовосстановления.

В последние десятилетия восстановление лесов [5] на землях лесного фонда осуществляется преимущественно естественным путем, а доля площади искусственного лесовосстановления в отдельных субъектах РФ сократилась в 2–2,5 раза (табл. 1).

Из табл. 1 видны разнонаправленные тенденции в динамике и в соотношении общей площади лесовосстановления и площади создаваемых лесных культур в субъектах РФ, расположенных в лесостепной и степной лесорастительных зонах европейской части России. В одних субъектах РФ площадь лесовосстановления увеличилась (Белгородская, Воронежская, Курская, Липецкая, Оренбургская и Саратовская области), а в других – уменьшилась (Орловская, Тамбовская, Астраханская, Волгоградская, Самарская области, Ставропольский край и Республика Калмыкия).

При этом доля площади земель, на которых выполнялось искусственное лесовосстановление, составляла в разные периоды от 35 % до 100 % от общей площади лесовосстановления.

Статистические сведения [5] о динамике лесистости по субъектам РФ за последние 15 лет приведены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что выполняемые объемы работ по лесовосстановлению во многих субъектах европейской части РФ, где произрастают преимущественно защитные леса, не приводят к должному увеличению их лесистости. Это свидетельствует о низкой лесоводственной и экономической эффективности воспроизводства защитных лесов.

Объемы и результаты работ по искусственному лесовосстановлению и лесоразведению во многом определяются наличием достаточного количества качественного посадочного и посевного материала. Однако с каждым годом заготавливается все меньше и меньше высококачественных семян ценных лесных древесных пород. Семян хвойных пород заготовлено в 2 раза меньше – 87 т, тем не менее, это в полной мере покрывает потребность в них. В питомниках выращено 728,4 млн стандартных сеянцев и саженцев (при потребности на закладку лесных культур – 716,3 млн шт.) [3, 4, 6]. Для улучшения ситуации с качеством посадочного материала были созданы лесные селекционно-семеноводческие центры в Ленинградской, Костромской, Воронежской, Архангельской областях, Алтайском крае и Республике Татарстан.

Динамика лесистости субъектов РФ по 5-летним периодам
The dynamics of the forest cover of the RF subjects for the 5-year period

Субъекты РФ	Лесистость территорий субъектов РФ по 5-летиям, %			
	1998 г.	2003 г.	2008 г.	2013 г.
Белгородская область	8,5	8,6	8,6	8,6
Воронежская область	8,4	8,3	8,4	8,1
Курская область	7,8	7,9	8,2	8,2
Липецкая область	8,0	7,6	7,6	7,2
Орловская область	7,8	7,8	8,0	8,0
Тамбовская область	10,3	10,5	10,6	10,4
Республика Калмыкия	0,2	0,2	0,2	0,2
Астраханская область	1,9	1,8	1,8	1,8
Волгоградская область	4,4	4,3	4,3	4,3
Ростовская область	2,5	2,5	2,4	2,4
Ставропольский край	1,5	1,5	1,5	1,5
Оренбургская область	4,5	4,6	4,6	4,6
Самарская область	12,6	12,7	12,8	12,8
Саратовская область	5,7	6,0	6,3	6,3

Что касается повышения качества и эффективности воспроизводства лесов в нашей стране, то оно должно соответствовать определенным принципам. Эти принципы устанавливают в целом приоритет обязательного учета экономической эффективности вложения средств в лесохозяйственные мероприятия. Это обусловлено длительностью цикла лесного хозяйства и большим количеством возможных операций в лесу, что требует не только учета текущей ситуации, но и долгосрочного планирования.

Можно выделить следующие основные принципы, которые нужно строго соблюдать для достижения поставленных целей и следовать им:

- провести экономическую оценку всех видов лесохозяйственных мероприятий;
- провести учет затрат на различные операции в лесу;
- оптимизировать хозяйственный цикл выращивания насаждений с разной целевой породной и товарной структурой;
- создать экономические стимулы и правовые механизмы для перехода бизнеса к интенсивному использованию и устойчивому воспроизводству лесов.

Для повышения эффективности воспроизводства лесов РФ необходимо основываться на целом комплексе последовательно

выполняемых взаимосвязанных мероприятий, которые должны быть обеспечены соответствующими нормативными правовыми актами и научно-методическим сопровождением, дифференцированным по лесорастительным зонам.

В качестве примера совершенствования лесного законодательства считаем целесообразным внести следующие изменения в действующий Лесной кодекс РФ и нормативные правовые акты в сфере воспроизводства лесов.

Во-первых, в целях оптимизации нормативной правовой базы по воспроизводству лесов необходимо в Лесной кодекс РФ в развитие статьи 62 «Лесовосстановление» ввести дополнительно следующие три статьи с соответствующим содержанием.

Статья 62.1 «Естественное лесовосстановление»

1. Естественное лесовосстановление осуществляется путем предварительного, сопутствующего и/или последующего восстановления лесов.

2. Естественное лесовосстановление на не покрытых лесной растительностью землях лесного фонда признается успешным, если оно происходит в установленные для соответствующей лесорастительной зоны сроки, а количество жизнеспособных расте-

ний главных и хозяйственно ценных пород соответствует нормам действующих нормативных правовых актов, регламентирующих воспроизводство лесов.

3. В случаях неудовлетворительного естественного лесовосстановления либо его отсутствия в приемлемые сроки по каким-либо причинам на лесном участке должно осуществляться комбинированное или искусственное лесовосстановление главными и хозяйственно ценными породами, максимально полно соответствующими лесорастительным условиям этого лесного участка.

4. При наступлении смыкания крон растений и достижении формирующимся насаждением относительной полноты 0,4 и выше восстановившийся лесом участок переводится в покрытые лесной растительностью земли.

Статья 62.2 «Комбинированное лесовосстановление»

1. Комбинированное лесовосстановление осуществляется за счет сочетания на одном участке в разном соотношении естественного и искусственного восстановления лесов.

2. Комбинированное лесовосстановление осуществляется на не покрытых лесной растительностью участках, где в приемлемые сроки не может быть обеспечено успешное естественное лесовосстановление главных и хозяйственно ценных древесных пород.

3. Соотношение долей площади участка, назначаемых под естественное заращивание и создание лесных культур, устанавливается по результатам оценки состояния естественного возобновления и его размещения по площади участка.

4. Завершенным объектом комбинированного лесовосстановления признается сомкнувшийся молодняк из растений естественного семенного и/или вегетативного и искусственного происхождения в разном соотношении, имеющий полноту 0,4 и выше.

Статья 62.3 «Искусственное лесовосстановление»

1. Искусственное лесовосстановление осуществляется путем создания лесных культур посевом семян или посадкой сеянцев, саженцев, черенков.

2. При искусственном лесовосстановлении могут создаваться чистые и смешанные по составу лесные культуры из аборигенных и интродуцированных древесных пород и кустарников.

3. Выбор культивируемых древесных пород и кустарников определяется исходя из максимального соответствия их лесорастительным условиям и с учетом целевого назначения лесов.

4. При наступлении смыкания крон культивируемых растений и достижении лесным насаждением относительной полноты 0,4 и выше площадь участка с осуществленным успешным искусственным лесовосстановлением переводится в покрытые лесной растительностью земли.

5. Завершенным объектом искусственного лесовосстановления признается сомкнувшийся молодняк из растений преимущественно искусственного происхождения с небольшой долей сохранившихся в рядах растений естественного семенного и/или вегетативного, имеющий полноту 0,4 и выше.

Во-вторых, если обратиться к организации действенного и эффективного мониторинга за воспроизводством лесов, то здесь очень важным фактором является не только гражданская, но и юридическая ответственность всех юридических и физических лиц, осуществляющих воспроизводство лесов, за достоверность предоставляемой в федеральные и территориальные органы исполнительной власти документированной информации о воспроизводстве лесов, отражающей объемы и качество естественного, искусственного и комбинированного лесовосстановления. Приписки по видам и объемам работ, а также любое искажение отчетности недопустимо, но пока такой правовой механизм отсутствует.

В-третьих, необходимо разработать «Методические указания по инвентаризации земель, предназначенных для лесовосстановления, проектированию и оценке лесовосстановления на них».

В-четвертых, в действующие «Правила лесовосстановления» необходимо внести уточняющее дополнение, касающееся «опти-

мального» (или приемлемого) и «предельно допустимого» срока лесовосстановления по лесорастительным зонам, дифференцированного по категориям земель (вырубки, гари, пустоши, прогалины, погибшие насаждения), по типам лесорастительных условий и главным лесобразующим древесным породам.

Сообразно прогнозируемому и ожидаемому в течение установленного срока лесовосстановлению главной и хозяйственно ценных лесных древесных пород проектируется естественное, искусственное или комбинированное лесовосстановление целевой породы и составляется «Проект лесовосстановления».

В-пятых, необходимо разработать «Наставление по планированию, проектированию и оценке работ по лесовосстановлению и лесоразведению в защитных и эксплуатационных лесах Российской Федерации», адаптированное к действующему лесному законодательству и лесорастительным зонам.

В-шестых, договора на выполнение мероприятий по лесовосстановлению и лесоразведению должны заключаться на полный срок, включая сдачу заказчику завершеного объекта, предусмотренного «Проектом лесовосстановления» по соответствующему акту приемки-сдачи выполненных работ.

Таким образом, сложившаяся ситуация требует дальнейшего совершенствования лесного законодательства и нормативной правовой базы, регламентирующей порядок естественного, искусственного и комбинированного лесовосстановления, а также создания соответствующих региональных нормативных правовых актов, дифференцированных по лесорастительным зонам и лесным районам. В совокупности все это должно обеспечить успешное выполнение поставленных задач в области воспроизводства лесов.

Заключение

Действующий Лесной кодекс РФ и существующие нормативные правовые акты в сфере воспроизводства лесов нуждаются в совершенствовании.

В настоящее время обеспечение своевременного, качественного и устойчивого воспроизводства лесов в России – серьезная

и сложная проблема лесного хозяйства. Лесовосстановление – важнейший раздел деятельности органов лесного хозяйства. Немаловажное значение имеют издержки, связанные с выращиванием леса, а также экономические и экологические выгоды, которые приносит лесовосстановление. Именно от соотношения затрат и выгод, оцененных в денежном выражении, и зависит привлекательность лесовосстановления. Своевременное восстановление ценных лесов на вырубках и гарях, сокращение площади иных категорий, не покрытых лесной растительностью земель лесного фонда, создание системы защитных лесных насаждений на землях сельскохозяйственного назначения возможны только при выполнении большого комплекса работ. Это, прежде всего:

- создание лесосеменной базы,
- заготовка лесных семян,
- выращивание посадочного материала,
- посадка и посев леса,
- содействие естественному возобновлению,
- агротехнические и лесоводственные уходы за культурами и естественными молодняками.

Поименованные выше работы должны быть обеспечены соответствующими нормативными правовыми актами в полном объеме.

При искусственном и комбинированном лесовосстановлении и лесоразведении путем создания чистых по составу лесных культур из хвойных лесных древесных пород, опасных в пожарном отношении, обязательно должно осуществляться предварительное противопожарное обустройство лесного участка (создание противопожарных минерализованных полос, разрывов и барьеров, пожароустойчивых опушек и т. д.).

Библиографический список

1. Шубин, В.А. Двухсотлетие учреждение лесного департамента 1798–1998 / В.А. Шубин. – М.: ВНИИЦ лесресурс, 1998. –243 с.
2. Морозов, Г.Ф. Учение о лесе / Г.Ф. Морозов. – М.-Л., Гослесбуиздат, 1949.
3. Писаренко, А.И. Лесное хозяйство России <http://www.booksite.ru>.

4. Правдин, Л.Ф. Лесосеменное районирование основных лесообразующих пород в СССР / Л.Ф. Правдин. – М., 1982. –100 с.
5. Единая межведомственная информационная статистическая система <http://fedstat.ru>.
6. Бобринский, А.Н. Правоприменение и управление в сфере охраны, защиты и воспроизводства лесов: Учебное пособие / А.Н. Бобринский, М.А. Воронов, Н.А. Коршунов и др.; под общ. ред А.П. Петрова – М.: Всемирный банк, 2015. –252 с.
7. Current state of the carbon budget and the capacity of Russian soils for carbon sequestration <http://www.scopus.com>
8. Raum, S. Forestry paradigms and policy change: The evolution of forestry policy in Britain in relation to the ecosystem approach / S. Raum, C. Potter // *Land Use Policy* 49, 2002, pp. 462–470.
9. Петров, А.П. Совершенствование правоприменения и управления в лесном секторе Российской Федерации / А.П. Петров. – М.: Всемирный банк, 2011. – 240 с.
10. Nordberg, M. From logging frontier towards sustainable forest management: experiences from boreal regions of North-West Russia and North Sweden / M. Nordberg, P. Angelstam, M. Elbakidze, R. Axelsson // *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2013, pp. 797–810.

IMPROVEMENT OF THE REGULATORY AND SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL SUPPORT OF REPRODUCTION OF FORESTS

Kulakova E.N., pg. VSUFT⁽¹⁾; **Chernyshov M.P.**, Prof. VSUFT, Dr. Sci. (Agriculture)⁽¹⁾; **Diagtereva S.I.**, Assoc. Prof. VSUFT, Ph.D. (Biology)⁽¹⁾

kulakova_92@list.ru degtjarewa-lana@yandex.ru

⁽¹⁾ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 394087, 8, Timiryazeva str, Voronezh, Russian Federation

Russian forests present significant resource and ecological potential. Russia is the leader in forest area, accounting for 20,1 % of the total forest area in the world. According to the State Forest Register on 01.01.2015, the total land area of the Russian Federation, occupied by forests, was 1.183.300.000 Ha, of which forest lands account for 1.144.100.000 Ha. Forest fund is large-scale object of state property, representing a multi-faceted collection of forest and non-forest lands within the borders, established in accordance with the forest and land legislation. Forests have been and remain the most important national natural resource of Russia and a guarantee of its ecological safety. However, Russia as the largest on Earth forest owners should be interested not only in multipurpose, continuous and sustainable use of forests and forest resources, providing admission of charge for them to federal and regional budgets, but also in their sustainable, timely and high-quality reproduction. The current situation with the reproduction of forests is far from perfect in terms of both its legal and regulatory support, and from the perspective of scientific and methodological support of complex processes of natural, artificial and combined reforestation. It is urgent to develop «The concept of advanced, sustainable and high-quality reproduction of protection and production forests of the Russian Federation on the zonal-typological, selection and genetic basis» adapted to the market economy. It should include the principles, objectives and tasks of reforestation, as well as the legal regimes and market mechanisms ensuring sustainable growth of forest cover of the territories of the Russian Federation at the expense of increasing the area of plantations of commercially valuable softwood and hardwood tree species, improving their quality, productivity and sustainability. In its turn successful implementation of this Conception of forest reproduction needs clear national forest policy, perfect forest legislation and effective system of forest management.

Keywords: Forest Code of the Russian Federation, forest legislation, laws and regulations, forest fund lands, reforestation, afforestation

References

1. Shubin V.A. *Dvukhsotletie uchrezhdenie lesnogo departamenta 1798-1998*. [Bicentennial of establishment of forest department 1798-1998]. Moscow: VNIITS lesresurs, 1998. 243 pp.
2. Morozov G.F. *Uchenie o lese* [The doctrine of the forest]. Moscow. Leningrad, Goslesbumizdat, 1949.
3. Pisarenko A.I. *Lesnoe khozyaystvo Rossii* [Forestry of Russia] Access mode: <http://www.booksite.ru>.
4. *Lesosemennoe rayonirovanie osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod v SSSR* [Forest seed zoning of main tree species in the USSR]. Moscow: Forestry, 1982. 368 p.
5. *Edinaya mezhdomstvennaya informatsionnaya statisticheskaya sistema* [United interdepartmental statistical information system]. Access mode: <http://fedstat.ru>.
6. Bobrinsky A.N. *Pravoprimeneniye i upravleniye v sfere okhrany, zashchity i vosproizvodstva lesov* [Law Enforcement and Governance in the field of conservation, protection and regeneration of forests: A Tutorial]. Moscow: World Bank, 2015. 252 p.
7. *Sovremennoye sostoyaniye uglerodnogo byudzheta i emkost' rossiyskogo pochvy dlya sekvestratsii ugleroda* [Current state of the carbon budget and the capacity of Russian soils for carbon sequestration]. Access mode: <http://www.scopus.com>
8. Raum S., Potter C. Forestry paradigms and policy change: The evolution of forestry policy in Britain in relation to the ecosystem approach. *Land Use Policy* 49, 2002, pp. 462–470.
9. Petrov A.P. *Sovershenstvovanie pravoprimeneniya i upravleniya v lesnom sektore Rossiyskoy Federatsii* [Improving law enforcement and governance in the forest sector of the Russian Federation]. Moscow: World Bank, 2011. 240 p.
10. Nordberg M. Aksel'sson r. ot rubok granitsy v napravlenii ustoychivogo lesopol'zovaniya: opyt ot boreal'nykh regionov Severo-Zapadnoy Rossii i Severnoy Shvetsii [From logging frontier towards sustainable forest management: experiences from boreal regions of North-West Russia and North Sweden]. *Skandinavskiy zhurnal lesnykh issledovaniy* [Scandinavian Journal of Forest Research], 2013, pp. 797-810

ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЛЕСНОГО СЕКТОРА РОССИИ

Н.Б. ПИНЯГИНА, *проф., МГУЛ, д-р экон. наук*⁽¹⁾,
Н.С. ГОРШЕНИНА, *доц., МГУЛ, канд. экон. наук*⁽¹⁾,
Е.Б. НАЗАРЕНКО, *доц., МГУЛ, канд. экон. наук*⁽¹⁾,
О.В. ГАМСАХУРДИЯ, *доц., МГУЛ, канд. экон. наук*⁽¹⁾

nbp50@yandex.ru, caf-elh@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ФГБОУ ВО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1

В статье на основании анализа современного состояния и тенденций развития лесного сектора Российской Федерации в целом и лесозаготовительной промышленности определены основные проблемы, требующие своего решения на среднесрочную и более длительную перспективу. Рассматриваются пути решения этих проблем и прежде всего необходим перевод лесозаготовительной промышленности на интенсивный, инновационный путь развития. Серьезное внимание в статье уделено таким аспектам, как неравномерность и экстенсивность лесопользования; ухудшение качественного состава лесного фонда; низкая транспортная доступность лесов; технологическое отставание большинства лесопромышленных предприятий; недостаточное развитие производств по выпуску конкурентоспособных видов лесобумажной продукции; неудовлетворительное финансовое состояние предприятий. Устранение выше-названных проблем позволит достичь позитивных прогнозных показателей в сфере увеличения запасов лесосырьевых ресурсов, заготовки и переработки древесины. С учетом представленных в статье прогнозных исследований отраслей лесного сектора России рекомендуется комплекс мер, которые позволят преодолеть указанные проблемы и реализовать перспективы инновационного сценария развития. Важно подчеркнуть, что реализация поставленных в статье целей возможна с помощью наилучших существующих технологий и инноваций, новой политики в области лесных отношений, науки и образования. В результате российский лесной сектор должен влиться в мировую экономику обновленным, конкурентоспособным.

Ключевые слова: прогнозные исследования, инновационный сценарий развития.

Для обеспечения дальнейшего развития лесного сектора в свете глобальных изменений необходимо разработать и реализовать комплекс институциональных и экономических инструментов, учитывающих новые потребности общества не только в древесных ресурсах, но и в экологических ресурсах леса.

С целью глубокого анализа проблем, связанных с реализацией стратегии развития лесного сектора, а также оценки производственно-экономического потенциала, рассмотрим основные показатели деятельности отраслей лесного сектора и их влияние на результативность ее функционирования.

Целесообразно начать анализ с лесозаготовительного производства как начальной и первостепенной фазы всего технологического процесса лесного сектора [1–3].

Необходимо отметить, что, по данным Росстата за 2014 г. (табл. 1), впервые за несколько последних лет объемы лесозаготовок увеличились в 2014 г. на 616

тыс. куб. м (+0,5%) в сравнении с 2013 г. Данный факт является позитивным моментом в работе лесного сектора, поскольку именно лесозаготовки являются начальной стадией технологического процесса и существенным образом влияют на развитие других отраслей лесопромышленного комплекса.

Совершенствование законодательной базы позволяет государству отследить всю цепочку движения лесных ресурсов (от приобретения компанией права пользования лесными участками до переработки древесины и ее экспорта). По этому закону с 1 июля 2014 г. любое транспортное средство, перевозящее древесину, должно быть снабжено сопроводительными документами о происхождении груза.

Кроме того, вся древесина, полученная при использовании лесов и при осуществлении мероприятий по их охране, защите, воспроизводству подлежит учету до вывоза из леса. Все сделки по круглой древесине регистрируются. Таким образом, из-за изме-

**Производство продукции по виду «Лесозаготовки»
Production by type «Logging»**

Виды продукции	2014	в % к 2013	Декабрь 2014	в % к	
				декабрю 2013	ноябрю 2014
Древесина необработанная, млн. плотн. м ³ , в том числе:	119,3	100,5	14,2		
– бревна хвойных пород, млн. плотн. ³	71,4	99,6	7,5	100,2	126,4
– бревна лиственных пород, млн. плотн. ³	24,1	107,1	3,2	128,9	157,2
– древесина топливная, млн. плотн. ³	14,2	95,9	2,1	103,0	169,4
– древесина необработанная (включая жерди и колья) прочая, млн. плотн. ³	9,5	99,4	1,4	113,5	147,3

Т а б л и ц а 2

**Производство продукции по виду «Обработка древесины и производство изделий из дерева»
Manufacturing production by type of «Processing of wood and manufacture of wood products»**

Виды продукции	2014	в % к 2013	Декабрь 2014	в % к	
				декабрю 2013	ноябрю 2014
Распиловка и строгание древесины; пропитка древесины		96,5		99,0	109,7
лесоматериалы толщиной более 6 мм, млн м ³	21,5	98,6	1,8	99,4	110,6
щепа технологическая для производства целлюлозы и древесной массы, тыс. плотн. м ³	4245	99,0	351	108,1	114,5
щепа топливная, плотн. тыс. м ³	634	80,3	76,0	84,9	104,4
Производство шпона, фанеры, плит, панелей		104,0		105,2	102,6
фанера клееная, состоящая только из листов древесины, тыс. м ³	3540	106,2	307	108,4	103,6
плиты древесно-стружечные и аналогичные плиты из древесины и других одревесневших материалов, тыс. усл. м ³	6 814	102,4	616	104,3	102,5
плиты древесно-волоконистые из древесины или других одревесневших материалов, млн. усл. м ²	432	101,5	36,0	95,9	98,4
Производство деревянных строительных конструкций, включая сборные деревянные строения, и столярных изделий		87,0		85,7	99,0
Производство деревянной тары		101,4		99,2	102,9
Производство топливных гранул, тонн	88844	125,5	74614	94,5	131,5

нений в законодательстве лесозаготовка оказывается в новых условиях, что, безусловно, влияет на обеспечение предприятий древесиной.

Так, в деревообработке и производстве изделий из дерева в 2014 г. увеличилось производство фанеры, древесных плит и панелей, топливных гранул и деревянной тары, однако снизилось производство пиломатериалов (табл. 2).

Особое внимание необходимо уделить производству целлюлозно-бумажной продукции как ведущей отрасли лесного сектора.

Индексы производства по целлюлозно-бумажной продукции (+4,5%) в 2014 г. были выше, чем в целом по обрабатываю-

щим отраслям (+2,1%), и в целлюлозно-бумажной промышленности опережающими темпами развивалось производство целлюлозы, бумаги, тароупаковочных изделий, школьных тетрадей.

В 2014 г. снизились объемы производства издательской и полиграфической продукции, в первую очередь газет (–9,7%) и журналов (–6,1%). Увеличился выпуск печатных листовок (+18,5%) (табл. 3).

В отчетном году по данным Росстата [1–8], возросло потребление товарной целлюлозы, бумаги и картона. Сократилось потребление газетной бумаги на 73,9 тыс. тонн (или на 13,3% против уровня 2013 г.). В расчете на душу населения на 2,8% увеличилось потребление бумаги и картона.

**Производство продукции целлюлозно-бумажного производства,
издательской и полиграфической деятельности**
Production of pulp and paper production, publishing and printing

Виды продукции	2014	в % к 2013	Декабрь 2014	в % к	
				декабрю 2013	ноябрю 2014
Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона и изделий из них		104,5		87,9	101,9
целлюлоза древесная и целлюлоза из прочих волокнистых материалов, тыс. тонн	7503	104,1	659	105,0	100,1
бумага, тыс. тонн	4943	103,7	409	97,8	98,9
Издательская и полиграфическая деятельность		96,1		101,0	101,0
газеты (экз., тираж условный /в 4-х полосном исчислении формата А2/), млрд штук	15,8	90,3	1,3	90,4	100,6
книги, брошюры, листовки печатные в виде отдельных листов, млн штук	6157	98,7	539	95,3	116,7

Предприятиями ОАО «Группа «Илим» в 2014 г. было произведено 1846,4 тыс. т, что составило 81,9% от общего объема выпуска товарной целлюлозы в России. Наибольший прирост выпуска достигнут филиалом в г. Братске (освоение введенных мощностей по приоритетному инвестиционному проекту «Большой Братск»). В конце 2014 г. АО «Монди Сыктывкарский ЛПК» ввело в эксплуатацию сушильную машину (пресспат) производительностью 300 т воздушно-сухой целлюлозы в сутки. Введенные по проекту «Степ» мощности по варке целлюлозы обеспечивают, помимо увеличения производства бумаги и картона, выпуск товарной хвойной целлюлозы. Марийский и Сясьский ЦБК, увеличив в 2014 г. объемы варки целлюлозы, направили ее дополнительные объемы на увеличение выпуска бумаги и картона, при этом снизив производство товарной целлюлозы.

На экспорт было поставлено 1792,9 тыс. т товарной целлюлозы, что составило 79,6% от общего объема ее производства. Среднегодовая цена FOB/DAF 1 т целлюлозы – 573,53 US\$.

Прирост производства всей бумаги в 2014 г. в сравнении с 2013 и 2012 гг. был обеспечен, главным образом, за счет ввода и освоения новых производственных мощностей. На филиале ОАО «Группа «Илим» в г. Коржме и ОАО «ЦБК «Кама» наращива-

лось производство печатных видов бумаг за счет ввода нового оборудования по выпуску мелованных и легковесных мелованных бумаг. На ОАО «Каменская бумажно-картонная фабрика» увеличились объемы производства гофробумаги из вторичного сырья, ОАО «Сыктывкар Тисью Групп» нарастило выпуск санитарно-гигиенической бумаги-основы и изделий из нее. Кроме того, увеличился выпуск бумаги на предприятиях, которые осуществили плановую модернизацию основного технологического оборудования. Среди них – КБК (Башкортостан), ОАО «Маяк», «Пермский картон» и другие.

В 2014 г. снизился выпуск периодических печатных изданий на 9,7% – газет (в 4-х полосном исчислении формата А2 условного тиража), на 6,1% – журналов. На 1,3% уменьшились тиражи книг, брошюр и аналогичных материалов. Производство типографской бумаги в 2014 г. составило 11,1 тыс. т (82% к 2013 г.), весь ее объем был выпущен АО «Монди Сыктывкарский ЛПК». Потребление указанных видов бумаги в России снижается на протяжении последних 15–20 лет, из-за падения спроса так же последовательно уменьшаются объемы их выпуска.

В 2014 г. произведено 1390,7 тыс. т бумаги для гофрирования (увеличение производства за год составило 67,1 тыс. т). Средняя массоемкость – 141,6 г/м², в 2013 г. – 133,3 г/м². Ввод в действие КДМ

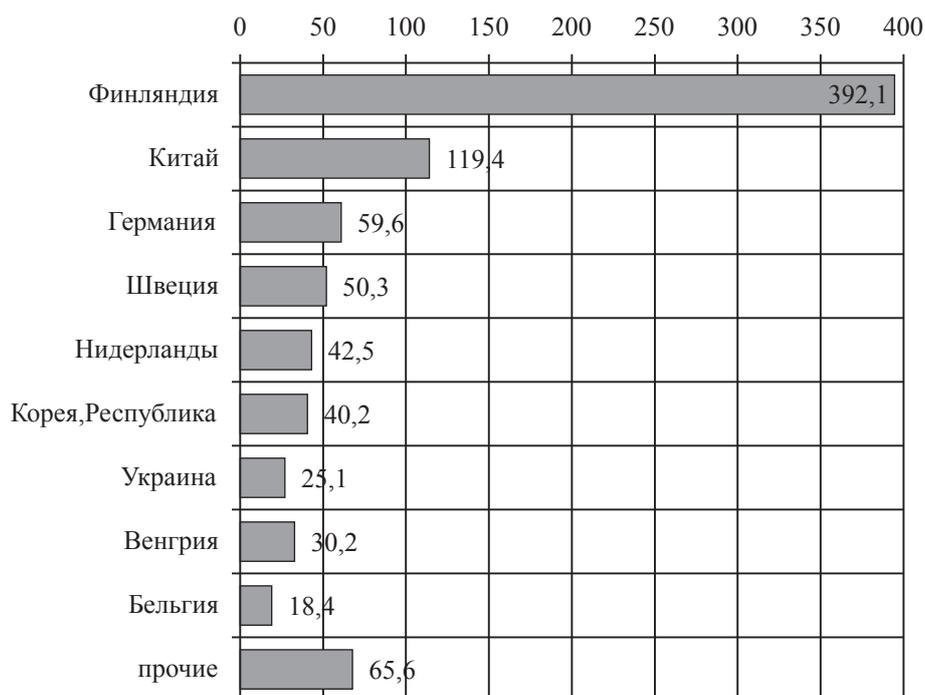


Рисунок. Импорт мелованных бумаг и картонов (гр. 4810) в 2014 г., тыс. т
 Figure. Imports of coated paper and paperboard (с. 4810) in 2014, ths. Tons

и освоение мощностей в Тверской, Московской, Ленинградской, Пензенской областях позволил увеличить производство гофробумаги на предприятиях в этих регионах суммарно на 141,7 тыс. т.

В 2014 г. на экспорт отгружено 19,7 тыс. т мешков, пакетов, коробок и другой упаковочной тары, что на 11,3% больше, чем в 2013 г. Следует отметить, что на рынках стран Евросоюза предложение значительно опережает спрос на бумажные мешки из-за снижения объемов производства строительных сыпучих смесей вследствие общего замедления темпов экономического роста. На рынках Юго-Восточной Азии тароупаковочная продукция российского производства вполне удовлетворяет требования потребителей по качеству и цене, что позволяет успешно конкурировать с иностранными компаниями.

Наибольший объем импорта товаров группы 4810 составляют бумага и картон для печати и письма чистоцеллюлозные (4810 19 900 0), составляющие около 30% от общего объема поставок. Ведущими поставщиками на российский рынок товаров гр. 4810 являются компании SAPPI,

STORA ENSO, HANSOL PAPER, UPM, GOLD EAST PAPER, APP GOLD EAST, SHANDONG CHENMING PAPER и другие (рисунок).

Финляндия поставляет в Россию 20% ламинированных бумаг и картонов в объеме импорта, по 14% – Германия и Польша. В прошлом году более чем в два раза сократились объемы импорта из Украины. Общая доля этих 4 стран в тоннаже поставок продукции по коду 4811 – около 60%.

Данная группа объединяет товары, различные по характеристикам и назначению – упаковочные, декоративные, для строительных материалов и т.д. Это определило большое число и различную специализацию компаний-поставщиков. По объемам поставок в Россию лидирует финская компания STORA ENSO, выпускающая упаковку для жидких пищевых продуктов; компании AVERY DINNISON (Бельгия) и UPM RAFLATAC (Польша), производящие самоклеющуюся бумагу для этикеток и т.д.

Следует подчеркнуть, что на динамику основных видов продукции отраслей лесного сектора значительно влияет ценовая и тарифная политика. Так, индексы та-

Инвестиции в основной капитал по «чистым» видам экономической деятельности по крупным и средним организациям за 2014 г.
Investments in fixed capital by “pure” economic activities of large and medium organizations for 2014, the

Виды деятельности	Использовано, млн. рублей			Индекс физического объема инвестиций в основной капитал за 2014 г., %	Удельный вес в общем объеме инвестиций в основной капитал за 2014 г., %
	за 2014 г.	за 2013 г.	2014/2013, %		
ВСЕГО	9852930,0	9944864,7	99,1	95,7	100,0
Лесозаготовки	5975,6	7502,0	79,6	83,0	0,1
Обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели	39174,8	42655,9	91,8	92,3	0,4
Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона и изделий из них	32524,0	41251,4	78,8	75,5	0,3

рифов на грузовые перевозки по всем видам транспорта в декабре 2014 года повысились на 2,6% к ноябрю 2014 г., в том числе автомобильному – на 2,3%. Тарифы на грузовые перевозки железнодорожным транспортом с сентября до конца декабря 2014 г. оставались неизменными.

В результате увеличение затрат на транспортировку лесопродукции компенсируется ростом цен, который не всегда обусловлен повышением ее качества и конкурентоспособности.

Очевидно, что успешная деятельность отраслей лесного сектора, как на внутреннем, так и на внешнем рынках, определяется рациональной инвестиционной политикой и привлекательностью для инвесторов. Инвестиционная деятельность предприятий лесной отрасли должна обеспечивать выход всех производств по глубокой переработке древесины на проектную мощность, увеличивать лесозаготовительный парк и транспорт, поддерживать технику и оборудование на всех предприятиях в исправном состоянии. В связи с этим целесообразно проанализировать распределение инвестиций в разрезе основных отраслей лесного сектора (табл. 4).

Анализ свидетельствует о практически стабильной динамике инвестиций в экономическую деятельность предприятий лесного сектора, однако лесозаготовки по-прежнему остаются убыточными. Произош-

ло снижение инвестиций и по другим направлениям.

В 2014 г., по данным Росстата [1–14], объем инвестиций в целлюлозно-бумажное производство снизился на 21,2% в сравнении с 2013 г., в деревообработке снижение составило 18,9%. На ряде предприятий ЦБП из-за недостатка финансовых средств было приостановлено выполнение инвестиционных проектов развития, в том числе и проекта модернизации Усть-Илимского лесопромышленного комплекса, входящего в Перечень приоритетных инвестпроектов.

В ходе реализации инвестиционного проекта «Степ» на ОАО «Монди Сыктывкарский ЛПК» в конце 2014 г. была введена сушильная машина (пресспат) производительностью 100 тыс. т товарной целлюлозы в год.

Несмотря на позитивную тенденцию в инвестиционной деятельности лесного сектора, в 2014 г. увеличился отток капитала из России на фоне падения интереса потенциальных иностранных инвесторов к вложениям в российскую экономику, однако серьезно это не повлияло на результативность деятельности лесопромышленных предприятий.

Так, по результатам работы предприятий лесопромышленного комплекса в 2014 г. к уровню 2013 г. на 10,1% увеличилась выручка от продаж, при этом на 5,9% возросла себестоимость проданных товаров,

Производительность труда по видам производств лесопромышленного комплекса за 2013–2014 гг., тыс. руб.
Labour productivity by type of timber industry production for the 2013-2014., ths. rub.

Отгружено продукции в расчете на одного работника, тыс. руб.	2014	2013*	2014 / 2013, %
Обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели	1616,7	1657,2	97,6
Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона и изделий из них	4634,1	4241,0	109,3
Производство мебели	1220,0	1304,0	93,6

* в ценах 2014 года (экспертная оценка).

продукции, работы, услуг. Валовая прибыль повысилась на 27,6%, а прибыль от продаж – на 55,8%.

В целлюлозно-бумажном производстве соответственно увеличилась выручка – на 12,7%, рост себестоимости составил 8,3%, валовая прибыль увеличилась на 31,5%, прибыль от продаж – на 66,2%. Выросли расходы на уплату процентов за кредиты (+11,0%).

Уровень рентабельности к выручке от продаж товаров, продукции, работ и услуг по лесопромышленному комплексу за 2014 г. составил 9,4%, в том числе по целлюлозно-бумажному производству – 10,2%, что несколько выше, чем уровень рентабельности по обрабатывающим производствам – 9,7%.

В целом по стране, а также по обрабатывающим производствам в 2014 г. незначительно снизился удельный вес материальных затрат, остались неизменными удельные затраты на оплату труда и страховые взносы. В обработке древесины и производстве целлюлозно-бумажной продукции удельные материальные затраты возросли соответственно на 1,5% и 0,8%, снизились удельные затраты на оплату труда и страховые взносы. В производстве мебели на 1,1% увеличились удельные затраты на оплату труда.

В производстве целлюлозно-бумажной продукции за 2014 г. в сравнении с производством 2013 г. в структуре материальных затрат возросли затраты на сырье, материалы, топливо, энергию и транспорт, т.е. практически на все составляющие себестоимости производимой продукции.

Несмотря на экономический кризис, реальная заработная плата работников лесопромышленного комплекса немного возросла по сравнению с 2013 г. Однако с учетом сокращения общей численности основного персонала фонд заработной платы и соответствующие налоги в Пенсионный фонд, отчисления на обязательное медицинское страхование и другие социальные платежи предприятий и организаций лесопромышленного комплекса также уменьшились.

В 2014 г. в целом по стране значительно ухудшились экономические показатели деятельности предприятий, общая прибыль снизилась на 9,1%. Общая прибыль обрабатывающих производств упала на 46% в сравнении с 2013 г. В лесопромышленном комплексе общий убыток превысил 34,2 млрд руб. (в 2013 г. – прибыль более 14 млрд руб.). Прибыльным оказалось только производство мебели и отдельных видов бумаги, картона и тароупаковочной продукции. Однако в производстве мебели и бумаги прибыль снизилась по сравнению с 2013 г. соответственно на 4,8% и 34,4%. В целлюлозно-бумажном производстве основные убытки понесли производство целлюлозы и древесной массы, а также производство обоев, санитарно-гигиенической и хозяйственно-бытовой продукции, писчебумажных изделий.

Динамика одного из основных показателей результативности экономической деятельности предприятий лесного сектора также остается неоднозначной. Положительная тенденция наблюдается только в целлюлозно-бумажном производстве, что

объясняется качественной модернизацией, внедрением прогрессивных технологий и высоким уровнем социальной инфраструктуры (табл. 5).

С учетом изложенного аналитического обзора основных направлений деятельности лесного сектора можно сделать вывод, что сложная, неоднозначная ситуация, которую мы наблюдаем сегодня, это не повод для противоречий между участниками лесных отношений, а стимул для поиска новых возможностей и путей решения проблем [12].

Сегодня неоспоримым преимуществом будут обладать предприятия, которые находят возможность инвестировать в повышение качества продукции и культуру производства, в том числе и в отношении современных экологических требований к лесопромышленности.

Между тем, развитие лесного сектора невозможно без дополнительных мер поддержки на федеральном уровне. Прежде всего, необходимо предпринять следующие шаги:

- целевое снижение для предприятий, реализующих инвестиционные проекты, железнодорожных тарифов на перевозку сырья на лесоперерабатывающие заводы, а также произведенной готовой продукции;

- субсидирование государством ставок по кредитам, привлекаемым на создание современных лесоперерабатывающих производств;

- выравнивание действующих в регионах энергетических тарифов до средних по России;

- обеспечение инвентаризационных и лесоустроительных работ для получения точной информации о состоянии лесных ресурсов.

С учетом представленных в статье аналитических исследований отраслей лесного сектора России рекомендован комплекс мер, которые позволят преодолеть указанные проблемы и реализовать перспективы инновационного сценария развития, учитывающего не только экономические, но и социальные, и экологические аспекты лесных отношений.

Библиографический список

1. Прогноз лесного сектора Российской Федерации до 2030 г. – Продовольственная и сельскохозяйственная Организация Объединенных Наций. – Рим, 2012.
2. Стенографический отчет о заседании президиума Государственного совета «О повышении эффективности лесного комплекса Российской Федерации». – Государственный совет, 2013, <http://www.kremlin.ru/news/17876>.
3. Савицкий, А.А. Экономическая оценка инвестиций лесного сектора : учеб. пособие / А.А. Савицкий, Н.Б. Пинягина, Н.С. Горшенина. – М.: МГУЛ, 2013. – 618 с.
4. Шарп, У. Инвестиции: учебник; пер. с англ. / У. Шарп, Г. Александер, Дж. Бейли. – М.: ИНФРА-М, 2012. – 1027 с.
5. Вайн, С. Инвестиции и трейдинг: Формирование индивидуального подхода к принятию инвестиционных решений / С. Вайн. – Альпина Паблишерз, 2010. – 643 с.
6. Турлай, И.С. Влияние региональной экономической интеграции на привлечение прямых иностранных инвестиций (теоретические, методологические, эмпирические аспекты): монография / И.С. Турлай. – М.: Инфра-М, 2014. – 148 с.
7. Юрий, С.Е. Государственно-частное партнерство: инновации и инвестиции. Мировой и отечественный опыт / С.Е. Юрий. – М.: ЛИБРОКОМ, 2013. – 364 с.
8. Зиборов, В.А. Инвестиционная оценка привлекательности предприятия в постиндустриальной экономике / В.А. Зиборов, В.А. Белякова // Менеджмент в России и за рубежом. – 2014 – № 1 – С. 24–27.
9. Бутко, Г.П., Запруднов В.И. Методы оценки инвестиционной привлекательности лесопромышленного предприятия на современном этапе развития / Г.П. Бутко, В.И. Запруднов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – № 2. – С. 130–134.
10. Кондратюк, В.А. Инвестиционные процессы в лесопромышленном комплексе Российской Федерации / В.А. Кондратюк, Н.П. Кожемяко, А.В. Кондратюк // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – № 4. – С. 51–56.
11. Пинягина, Н.Б. Лесной сектор сегодня: взгляд бизнеса / Н.Б. Пинягина // Дерево.ру. – 2012. – № 5. – С.24–27.
12. Пинягина, Н.Б. Состояние и перспективы развития лесопромышленного комплекса России / Н.Б. Пинягина, В.И. Запруднов, А.А. Савицкий, Н.С. Горшенина // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2011. – № 1. – С. 167–174.
13. Запруднов, В.И. Концептуальные основы экономического развития лесного комплекса России / В.И. Запруднов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2011. – № 1. – С. 48–56.
14. Запруднов, В.И. Аналитические исследования деятельности лесного сектора России и зарубежных стран / В.И. Запруднов, Н.Б. Пинягина, Н.С. Горшенина // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – № 4. – С. 82–96.
15. Запруднов, В.И. Исследования перспектив развития лесопромышленного комплекса России в современных условиях / В.И. Запруднов, Н.Б. Пинягина, Н.С. Горшенина // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – № 5. – С. 60–73.
16. Запруднов, В.И. Тенденции и перспективы развития лесопромышленного комплекса России / В.И. Запруднов, Н.Б. Пинягина, Н.С. Горшенина // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2011. – № 6. – С. 106–116.

TRENDS AND PROSPECTS FOREST SECTOR RUSSIA

Pinyagina N.B., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Econ.)⁽¹⁾; **Gorshenina N.S.**, Assoc. Prof. MSFU, Ph.D. (Ekon.)⁽¹⁾; **Nazarenko E.B.**, Assoc. Prof. MSFU, Ph.D. (Ekon.)⁽¹⁾; **Gamsakhurdia O.V.**, Assoc. Prof. MSFU, Ph.D. (Ekon.)⁽¹⁾

nbp50@yandex.ru, caf-elh@mgul.ac.ru

⁽¹⁾Moscow State Forest University (MSFU) 1st Institutskaya St., 1, 141005, Mytischy, Moscow Region, Russia

In the article on the basis of analysis of the Russian Federation forest sector as a whole and the logging industry current status and development trends identified key issues to be solved in the medium and longer term. Discusses ways to solve these problems and first need is a transfer of logging industry to intensive, innovative way of development. Serious attention in the article is paid to such aspects as unevenness and extensiveness of forest management; deterioration of quality composition of forest fund; low transport accessibility of forests; technological backwardness of most timber companies; underdevelopment of manufactures on release of competitive types of wood and paper products; unsatisfactory financial condition of enterprises. Elimination of aforementioned problems will allow to reach positive predictive indicators in stock enhancement domain of forest resources, wood harvesting and processing. In the light of submitted in the article forecasting studies of Russian forest sector branches recommended a set of measures that will overcome these problems and realize innovative development prospects. It is important to emphasize that the realization of the objectives set out in the article is possible with the best available technology and innovation, the new forest policy relations, science and education. As a result the Russian forest sector should integrate into the world economy refurbished and competitive.

Keywords: Prediction studies, the innovative development scenario.

References

1. *Prognoz lesnogo sektora Rossiyskoy Federatsii do 2030 g.* [The Russian Federation forest sector Forecast until 2030]. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2012.
2. *Stenograficheskiy otchet o zasedanii prezidiuma Gosudarstvennogo soveta «O povyshenii effektivnosti lesnogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii»* [Transcript of the State Council Presidium meeting «On improving the efficiency of the forest sector in the Russian Federation»]. State Council, 2013, <http://www.kremlin.ru/news/17876>.
3. Savitskiy A.A., Piniagina N.B., Gorshenina N.S. *Ekonomicheskaya otsenka investitsiy lesnogo sektora : ucheb. posobie* [Economic evaluation of investment forest sector], Moscow, FSBEI HPE MSFU, 2013. 618 p.
4. Sharp U., Aleksander G., *Beili Dzh. Investitsii: uchebnik* [Investments], Moscow, INFRA-M, 2012. 1027 p.
5. Vain Saimon. *Investitsii i treyding: Formirovanie individual'nogo podkhoda k prinyatiyu investitsionnykh resheniy* [Investing and Trading: Formation of individual approach to making an investment decisions], Alpina Publishers, 2010. 643 p.
6. Turlay I.S. *Vliyaniye regional'noy ekonomicheskoy integratsii na privlecheniye pryamykh inostrannykh investitsiy (teoreticheskie, metodologicheskie, empiricheskie aspekty): monografiya* [Influence of regional economic integration on the attracting foreign direct investment (theoretical, methodological, empirical aspects): monograph]. Moscow, Infra-M, 2014. 148 p.
7. Yuriy S.E. *Gosudarstvenno-chastnoye partnerstvo: innovatsii i investitsii. Mirovoy i otechestvennyy opyt* [Public-private partnerships: innovation and investment. International and domestic experience]. Moscow, LIBROKOM, 2013. 364 p.
8. Ziborov V.A., Beliakova V.A. *Investitsionnaya otsenka privlekatel'nosti predpriyatiya v postindustrial'noy ekonomike* [Investment valuation of attractiveness of the company in the post-industrial economy]. Management in Russia and abroad, 2014, no.1, pp. 24–27.
9. Butko G.P., Zaprudnov V.I. *Metody otsenki investitsionnoy privlekatel'nosti lesopromyshlennogo predpriyatiya na sovremennom etape razvitiya* [Methods of evaluation of timber industry company investment attractiveness on a modern stage of development], Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoi Vestnik, 2013, no.2, pp.130-134.
10. Kondratyuk V.A., Kozhemiako N.P., Kondratyuk A.V. *Investitsionnye protsessy v lesopromyshlennom komplekse Rossiyskoy Federatsii* [Investment processes in the forestry sector of the Russian Federation], Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoi Vestnik, 2013, no.4, pp.51-56.
11. Piniagina N.B. *Lesnoy sektor segodnya: vzglyad biznesa* [Forest sector today: business vision], Derevo.ru [Tree.ru], 2012, no.5, pp.24–27.
12. Piniagina N.B., Zaprudnov V.I., Savitskiy A.A., Gorshenina N.S. *Sostoyaniye i perspektivy razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa Rossii* [Status and prospects of Russian timber industry development], Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoi Vestnik, 2011, no.1, pp.167-174.
13. Zaprudnov V.I. *Kontseptual'nye osnovy ekonomicheskogo razvitiya lesnogo kompleksa Rossii* [Conceptual basis of Russian forest sector economic development], Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoi Vestnik, 2011, no.1, pp.48-56.
14. Zaprudnov V.I., Piniagina N.B., Gorshenina N.S. *Analiticheskie issledovaniya deyatel'nosti lesnogo sektora Rossii i zarubezhnykh stran* [Analytical research of forest sector activities in Russia and abroad], Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoi Vestnik, 2013, no.4, pp.82-96.
15. Zaprudnov V.I., Piniagina N.B., Gorshenina N.S. *Issledovaniya perspektiv razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa Rossii v sovremennykh usloviyakh* [Study of Russian timber industry complex development prospects in modern conditions]/ Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoi Vestnik, 2012, no.5, pp.60-73.
16. Zaprudnov V.I., Piniagina N.B., Gorshenina N.S. *Tendentsii i perspektivy razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa Rossii* [Trends and development prospects of Russian timber industry complex], Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoi Vestnik 2011, no.6, pp.106–116.

ИССЛЕДОВАНИЕ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДРЕВЕСИНЫ

А.А. ТАМБИ, доц. СПбГЛТУ, канд. техн. наук⁽¹⁾,
 А.Н. ЧУБИНСКИЙ, проф. СПбГЛТУ, д-р техн. наук⁽¹⁾,
 К.В. ЧАУЗОВ, ассистент СПбГЛТУ⁽¹⁾,
 А.М. КУЛЬКОВ, инженер РЦ «Геомодель» СПбГУ⁽²⁾

a_tambi@mail.ru, a.n.chubinsky@gmail.com, tschauzovkirill@mail.ru, aguacrystals@narod.ru

⁽¹⁾Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет,
 194021, Россия, Санкт-Петербург, Институтский пер, д. 5

⁽²⁾Санкт-Петербургский государственный университет, РЦ «Геомодель»,
 198504, Россия, Санкт-Петербург, Ульяновская ул. 1

Изучение толщины и сплошности клеевых соединений, а также глубины проникновения связующего в полости древесины необходимо для косвенного прогнозирования прочности клеевых соединений. Существующие методы исследования древесины и клеевых соединений (оптическая микроскопия, сканирующая электронная микроскопия и рентгенография и использование ультразвука) позволяют изучать структуру древесины в области клеевого соединения, толщину и сплошность клеевого слоя. Однако их применение не дает возможности достоверно определить глубину проникновения связующего в микроструктурные элементы древесины, от которой зависит площадь контакта клея с древесиной. При использовании сканирующей электронной и оптической микроскопии необходимо использование микротома для изготовления образцов в области клеевого соединения, что может привести к его деформации, и, как следствие, к искажению точности получаемых результатов. При использовании рентгенографии на приемнике излучения происходит наложение элементов внутренней структуры образцов, что не позволяет выделить микроструктурные элементы, в которые проникает связующее. Применение микротомографии и нанотомографии позволяет определить проникновение клея в микроструктурные элементы. Полученные знания о распределении связующего в контактном слое древесины, глубина проникновения связующего в клеточные полости и сердцевинные лучи расширяют имеющиеся представления о механической и молекулярно-абсорбционной теории адгезии и позволяют обосновать расход клея в зависимости от степени разрушения поверхности и возможной глубины проникновения клея в древесину. Микротомография и нанотомография являются эффективным средством для исследования известных клеевых составов при разработке новых связующих и лакокрасочных материалов.

Ключевые слова: клеевой слой, микротомография, толщина клеевого соединения.

При изготовлении продукции из древесины одним из наиболее ответственных процессов является склеивание, позволяющее увеличить линейные размеры древесных сортиментов и повысить их формоустойчивость в процессе эксплуатации. Клеевое соединение формируется при определенной влажности древесины, отличающейся от эксплуатационной. Древесина, являясь гигроскопичным телом с явно выраженной анизотропией, при изменении температурно-влажностных условий подвержена деформациям от усушки (разбухания), приводящим к возникновению внутренних напряжений, вызывающих коробление и растрескивание сортиментов. В продукции небольших размеров, толщиной до 50 и шириной до 150 мм, возникающие напряжения в смежных слоях могут компенсироваться клеевым соединением, свойства которого должны позволять выдерживать подобные нагрузки.

Прочностные характеристики клеевого соединения в соответствии с теориями адгезии зависят от когезионной прочности клея и площади его контакта с подложкой, которая у капиллярно-пористых тел, в том числе у древесины, зависит от структуры и свойств поверхностного слоя. Известно, что прочность клеевых соединений древесины зависит от большого числа факторов и может быть косвенно оценена толщиной клеевого слоя и его сплошностью [1–3]. С увеличением толщины клеевого слоя в нем возрастают собственные внутренние напряжения, возникающие в процессе отверждения. Кроме того, в «толстом» клеевом слое выше вероятность образования трещин от усадки при отверждении, развитие которых при нагружении особенно опасно [4].

Существующие методы исследования древесины и клеевых соединений (оптической микроскопии [5], сканирующей электрон-

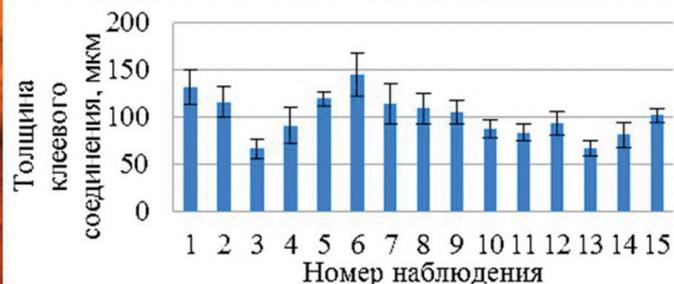
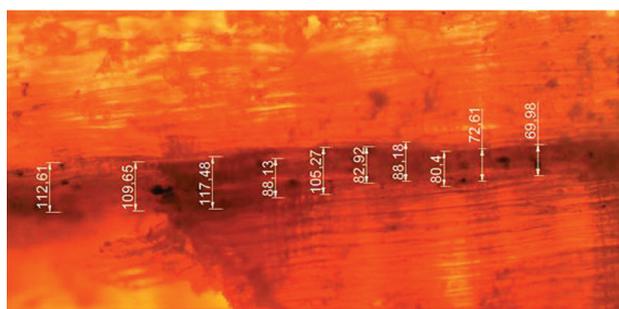


Рис. 1. Цифровое изображение клеевого соединения на модифицированном клее, полученное методом оптической микроскопии и гистограмма его толщины

Fig. 1. A digital image of the adhesive compound on a modified adhesive obtained by optical microscopy and the histogram of the thickness

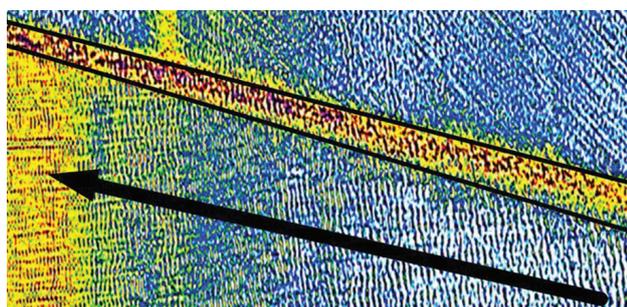


Рис. 2. Влияние плотности контактного слоя древесины на толщину клеевого соединения. Стрелкой указано направление повышения плотности

Fig. 2. Effect of the density of the contact layer of wood on the thickness of the adhesive joint. The arrow indicates the direction of increasing the density

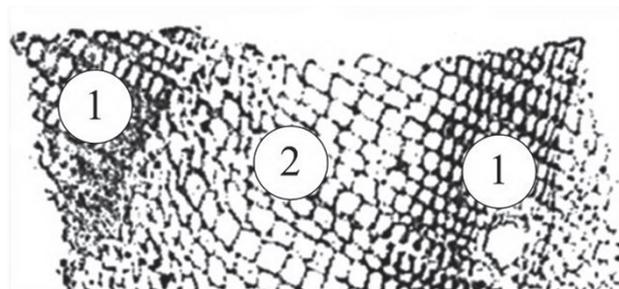


Рис. 3. Структура поверхности древесины сосны, разрушенная режущим инструментом, определенная методом микро томографии: 1 – поздняя древесина, 2 – ранняя древесина

Fig. 3. The structure of the surface of pine wood, was destroyed by the cutting tool as determined by micro-tomography: 1 – Late wood, 2 – early wood

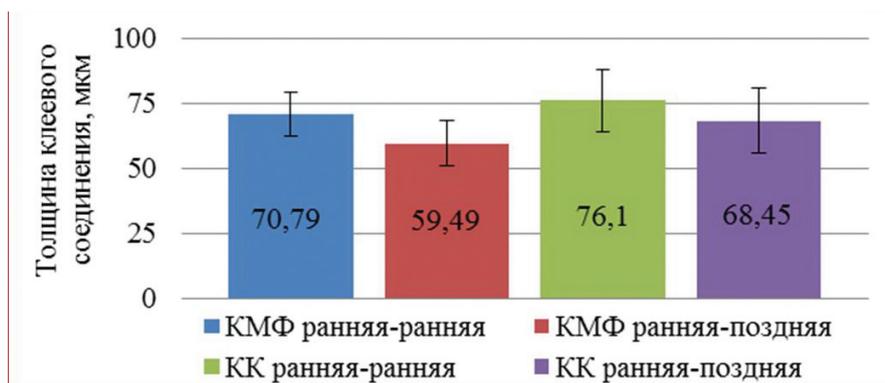


Рис. 4. Гистограмма толщины клеевого соединения на различных зонах древесины

Fig. 4. Histogram of the thickness of the adhesive compound on the different zones of wood

ной микроскопии и рентгенографии) позволяют изучать структуру древесины в области клеевого соединения, толщину и сплошность клеевого слоя [6–8]. Однако их применение не позволяет достоверно определить глубину

проникновения связующего в микроструктурные элементы древесины, а от нее зависит площадь контакта. При использовании сканирующей электронной и оптической микроскопии необходимо использование мик-

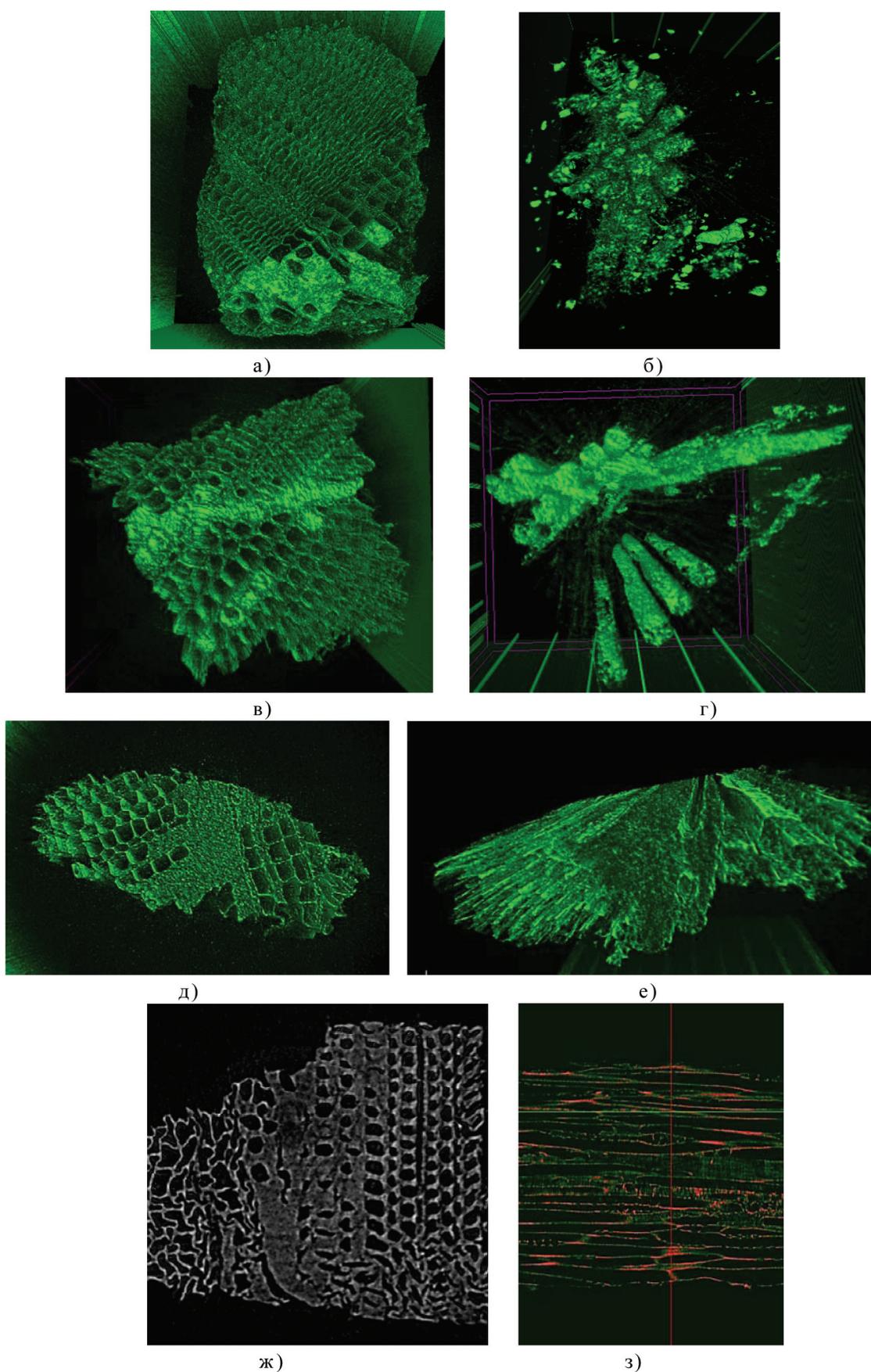


Рис. 5. Цифровое изображение клеевых соединений: а, б – ЭПИ; в, г – ПВА; д, е – КМФ; ж, з – КК
 Fig. 5. A digital image of adhesive joints: a, b – EPI; in, g – PVA; e, f – CMF; g, h – QC

ротома для изготовления образцов в области клеевого соединения, что может привести к его деформации, и, как следствие, к искажению точности получаемых результатов. При использовании рентгенографии на приемнике излучения происходит наложение элементов внутренней структуры образцов, что не позволяет выделить микроструктурные элементы, в которые проникает связующее.

Применение микротомографии для исследования клеевых соединений древесины позволяет оценить сплошность клеевого слоя и глубину проникновения клея в древесину с точностью до 700 нм без разрушения образцов в области клеевого слоя. При таком разрешении появляется возможность определить проникновение клея в микроструктурные элементы (трахеиды, сосуды и т. п.). Достоверная оценка распределения связующего в контактном слое древесины позволяет обосновать расход клея в зависимости от степени разрушения поверхности и возможной глубины проникновения клея в древесину, а получаемые знания расширяют имеющиеся представления об адгезии. Метод микротомографии является эффективным для исследования известных клеевых составов, новых связующих и лакокрасочных материалов.

Методика проведения исследований

В качестве исходных материалов для исследования применяли строганные пиломатериалы из древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и древесины лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) сечением 32,5 × 75 и длиной 600 мм. Исследованию подлежали 3 наиболее распространенных вида клея, используемых для склеивания цельной древесины: эмульсионный полимер-изоцианатный клей «PREFERE 6151» (ЭПИ), поливинилацетатный клей Klebit 303 (ПВА), карбамидомеламиноформальдегидный клей 1249 Akzo Nobel (КМФ), а также КМФ, модифицированный шунгитом (КК).

В первой серии опытов исследование клеевых соединений проведено на микроскопе МИКМЕД-6 производство «ЛОМО», оснащенном видеоокулярном ДСМ 310 с разре-

шающей способностью 2048 × 1536 пикселей при 400х увеличении. Полученные изображения клеевого соединения экспортировались в программу AutoCAD, с помощью которой измерялась толщина клеевого слоя. Микросрезы клеевых соединений для реализации метода толщиной 30 мкм получены при использовании микротомата замораживающего МЗ-2.

Во второй – исследования клеевого соединения проведены на микротомографе Sky Scan 1172 (разрешение 2,5 мкм, мощность излучения 50 кВ, сила тока 200 мкА, фокусное расстояние от источника до объекта 58 мм, время экспозиции 0,48 сек, шаг вращения образца 0,15 град, общее время съемки 40 мин.), а также на нанотомографе Bruker Sky Scan 2011 с разрешением до 700 нм и следующими параметрами съемки: мощность излучения 30 кВ, сила тока 200 мкА, фокусное расстояние от источника до объекта 149 мм, время экспозиции 0,2 сек, шаг вращения образца 0,3 град, общее время съемки 30 мин. Эти исследования выполнены совместно с ресурсным центром «Геомодель» Санкт-Петербургского государственного университета.

Результаты исследований и их обсуждение

Цифровое изображение клеевого слоя на основе клеевой композиции, полученное методом оптической микроскопии, приведено на рис. 1.

Установлено, что толщина клеевого соединения изменяется по длине ламели в широком диапазоне от 65 до 132 мкм. Причины такой вариативности не могут быть установлены методом оптической микроскопии. Помимо этого, при содержании в клее некоторых модификаторов, содержащих окрашивающие вещества, например шунгит, измерение толщины клеевого соединения затруднено из-за растирания ножом микротомата частиц шунгита по поверхности древесины.

Для исключения влияния таких факторов, как разрезание клеевых сортиментов и клеевого слоя микротомом, использовали метод компьютерной микротомографии.

Размеры трахеид сосны и глубина проникновения клея в древесину
The dimensions of the tracheids of pine and the depth of penetration of the glue for wood

Размеры трахеид на поперечном разрезе древесины сосны /11/, мкм*		Вид клея	Расход клея, кг/м ³	Толщина клеевого слоя между склеиваемыми поверхностями, мкм	Глубина проникновения клея в древесину, мкм	Прочность клеевого соединения, МПа	Толщина клеевого соединения, мкм	Открытая пористость, %	Закрытая пористость, %	Суммарная пористость, %
радиальный	тангенциальный									
33,5 / 13,8	27,0 / 19,9	ПВА	140	18,66	15,6	6,4	49,84	1,5	1,4	2,8
		ЭПИ	350	19,76	35,72	7,9	91,2	9,5	1,3	10,6
		КК	350	40,7	14,96	6,8	67,61	19,4	1,2	20,4
		КМФ	350	38,72	21,7	7,5	82,12	3,8	5,7	9,3

* В числителе приведены размеры трахеид ранней зоны годичного слоя, в знаменателе – поздней

На рис. 2 приведен результат качественной оценки клеевого соединения КМФ компьютерной томографии с разрешением 2,5 мкм. В результате предварительных [2] и вновь проведенных исследований установлено, что на толщину клеевого слоя основное влияние оказывает плотность контактного слоя, зависящая от содержания поздней древесины на поверхности склеиваемых сортиментов.

Анализ исследования структуры поверхности древесины перед склеиванием показывает, что ранняя зона древесины подвержена разрушению в процессе резания в большей степени, чем поздняя (рис. 3), что связано с ее меньшей прочностью.

Толщина клеевого слоя уменьшается по мере приближения к поздней зоне древесины. Его количественное значение зависит от вида связующего, рис. 4.

На рис. 5 показаны клеевые соединения и отвержденный клей, соединяющий древесные сортименты. Снимки получены методом микротомографии и обработаны в программах CTvox (а) и DataViewer (б). Изображение отвержденного клея получено в результате обработки выходного сигнала путем исключения древесины как вещества с отличающейся от клея плотностью.

Установлено, что клей располагается преимущественно в полостях разрушенных трахеид. Эмульсионный полимер-изоци-

анатный клей, увлекаемый влагой, адсорбируемый древесиной, глубже проникает в древесину через разрушенные клеточные стенки ранней древесины. В отличие от клеев на основе КМФ связующих, образующих монолитное клеевое соединение, располагающееся как в полостях перерезанных трахеид, так и между склеиваемыми поверхностями древесины – глобулы молекул ЭПИ клея проникают внутрь полости вскрытых трахеид (рис. 6а), схожее явление проникновения присуще ПВА клею (рис. 5в). Карбамидомеламиноформальдегидные связующие (на основе клея 1249 и модифицированный клей) проникают только в разрушенные трахеиды на поверхности древесины, образуя толстый клеевой слой между склеиваемыми поверхностями. Клеевые соединения, сформированные этими клеями, являются монолитными (рис. 5д-з). Модифицированный клей обладает большей пористостью (рис. 5 з, таблица), поскольку содержит шунгитовые сорбенты, которые представляют собой кварце-углеродистый каркас из элементарных структурных звеньев, неплотно упакованных. Такое строение шунгитовых сорбентов создает области свободных полостей, соединяющихся пересекающимися каналами [10].

Из таблицы видно, что глубина проникновения связующего в древесину зависит от размера полости трахеид. ПВА, КМФ и мо-

дифицированный клей распределяются только по поверхности склеиваемой древесины в разрушенных полостях трахеид. ЭПИ клеи способны проникать во внутренние слои древесины, что позволяет получать клеевые соединения большей прочности, вероятно, и за счет увеличения площади контакта.

Методом нанотомографии с использованием программного комплекса СТvox была произведена оценка пористости (сплошности) отвержденного клея на поверхности трахеиды. В данных исследованиях под термином открытая пористость понимается объем полостей, расположенных на внешней поверхности отвержденного связующего, местоположение которого выбрано случайным образом. Закрытая пористость – объем пор (полостей), находящихся внутри объема образца.

Выводы

1. Использование микро- и нанотомографии позволяет повысить достоверность результатов исследований клеевых соединений, получить новые знания о структуре клевого слоя.

2. Поливинилацетатные и карбамидомеламиноформальдегидные связующие, в том числе модифицированные, образуют клеевое соединение, распределяясь в полостях разрушенных трахеид, не проникая вглубь древесины.

3. Эмульсионные полимер-изоцианатные клеи глубже проникают в древесину, упрочняя ее и увеличивая площадь контакта между клеем и древесиной, образуют сложную разветвленную структуру клевого слоя.

4. Методы микро- и нанотомографии могут быть рекомендованы для исследования отвержденного клевого слоя, а также при разработке новых клеев и жидких лакокрасочных материалов, для изучения процесса формирования клевого соединения и лакокрасочного покрытия.

Исследования выполнены в рамках работ по теме ГР 01201463693

Библиографический список

1. Чубинский, А.Н. Формирование клеевых соединений древесины: монография / А.Н. Чубинский. – СПб.: СПбГУ, 1992 – 168 с.
2. Чубинский, А.Н. Метод контроля клеевых соединений в процессе производства клееных брусков из цельной древесины / А.Н. Чубинский, А.А. Тамби // Известия Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии. – СПб.: СПбГЛТА, 2008. – Вып. 185. – С. 208–213.
3. Пат. 2439538 Российская федерация МПК G01N19/04. Способ контроля качества клевого соединения / А.А. Тамби, А.Н. Чубинский, Г.С. Варанкина, К.Г. Брутян, А.А. Федяев; заявители и патентообладатели А.А. Тамби, А.Н. Чубинский, Г.С. Варанкина, К.Г. Брутян, А.А. Федяев; заявл. 14.10.2010; опубл. 10.01.2012, Бюл. № 1.–Зс.: ил. 4 с.
4. Чубинский, А.Н. Обоснование методики испытания клеевых соединений древесины на прочность при скалывании / А.Н. Чубинский, В.С. Медов / Известия Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии. – СПб.: СПбГЛТА, 2015. – Вып. 210. – С. 180–189.
5. Кармадонов, А.Н. Дефектоскопия древесины: монография / А.Н. Кармадонов. – М.: Лесная пром-сть, 1987. – 120 с.
6. Chubinsky A.N. Observation on the Deformation of Wood Cells in the Gluing process of Veneer / Chubinsky A.N., Okuma Motoaki, Sugiyama Junji. //Bulletin of the Tokyo University Forests-Tokyo: Tokyo University, 1990. № 82. P. 131-135.
7. Чубинский, А.Н. Физические неразрушающие методы испытания и оценка структуры древесных материалов / А.Н. Чубинский, А.А. Тамби, А.В. Теппоев и др. // Дефектоскопия. – Екатеринбург: Наука, 2014. – № 11. – С. 76–84.
8. Чубинский, А.Н. Направления использования физических методов контроля структуры и свойств древесины / А.Н. Чубинский, А.А. Тамби, А.А. Федяев и др. // Системы. Методы. Технологии. – Братск.: БрГУ, 2015. – № 2(26). – С. 152–158.
9. Чаузов, К.В. Исследование структуры клеевых соединений методом микротомографии / К.В. Чаузов, А.А. Тамби // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар: КубГАУ, 2014. – № 09(103). – С. 1–10. – IDA [article ID]: 1031409054. <http://ej.kubagro.ru/2014/09/pdf/54.pdf>
10. Варанкина, Г.С. Обоснование механизма модификации феноло- и карбамидоформальдегидных клеев шунгитовыми сорбентами / Г.С. Варанкина, А.Н. Чубинский // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2014. – № 2(101). – С. 108–112.
11. Чубинский, А.Н. Исследование размерных характеристик трахеид сосны Ленинградской области / А.Н. Чубинский, А.А. Тамби, Ю.А. Шимкевич и др. // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса: материалы II международной научно-технической конференции. – Кострома: изд-во КГТУ, 2013. – С. 27–29.

RESEARCH OF ADHESIVE BOND OF WOOD

Tambi A.A., Assoc. Prof. St Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov, Ph.D. (Tech.)⁽¹⁾; **Chubinsky A.N.**, Prof. St Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾; **Chauzov K.V.**, Assistant St Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov⁽¹⁾; **Kulikov A.M.**, Engineer Geo Environmental Research Center «Geomodel» St. Petersburg State University⁽²⁾

a_tambi@mail.ru, a.n.chubinsky@gmail.com, tschauzovkirill@mail.ru, aguacrystals@narod.ru

⁽¹⁾ St Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov 194021, St. Petersburg, Institutsky per., 5

⁽²⁾ Workplace: Geo Environmental Research Center «Geomodel» St. Petersburg State University, 198504, St. Petersburg, st. Ulyanovskaya, 1

Studying the thickness and continuity of the adhesive compounds and the depth of penetration of the glue into a cavity of wood necessary for forecasting of indirect bonding strength. Existing methods of investigation wood and glue joints by optical microscopy, scanning electron microscopy and X-ray and the use of ultrasound allow studying the structure of wood in the area of adhesive bonding, the thickness and continuity of the adhesive layer. However, their use does not allow to reliably determine the depth of penetration of the glue in the microstructural elements of wood, on which the area of contact with the wood glue. By using scanning electron microscopy and optical need for making use of a microtome samples in the adhesive bond that may leads deformation and consequently, to distort the accuracy of the results. When using X-ray radiation on the receiver is superimposed elements of the internal structure of samples, which does not allow to allocate microstructural elements, which penetrates the glue. Application of micro and nanotomography imaging to determine the penetration of the adhesive into the microstructural elements. The knowledge gained about the distribution of the glue in the contact layer of wood, the depth of penetration of the glue into the cell cavity and medullary rays extend existing representation of the mechanical and molecular absorption theory of adhesion and can justify the expense of adhesive depending on the degree of surface damage and the possible depth of penetration of the adhesive into the wood. Microtomography and nanotomography is an effective tool for the study of the known adhesives, the development of new glues and paint materials.

Keywords: glue layer, microtomography, the thickness of the adhesive bond

References

1. Chubinskiy A.N. *Formirovanie kleevykh soedineniy drevesiny: monografiya* [Formation of adhesive joints of wood]. Petersburg: St. Petersburg State University, 1992. 168 p.
2. Chubinskiy A.N., Tambi A.A. *Metod kontrolya kleevykh soedineniy v protsesse proizvodstva kleevykh bruskov iz tsel'noy drevesiny* [Control method of adhesive joints in the production process of glued solid wood bars]. Proceedings of the St. Petersburg State Forestry Academy, vol. SPb.: SPbGLTA, 2008. pp. 208-213.
3. Tambi A.A., Chubinskiy A.N., Varankina G.S., Brutyan K.G., Fedyaev A.A. *Pat. 2439538 Rossiyskaya federatsiya MPK G01N19/04. Sposob kontrolya kachestva kleeвого soedineniya* [Pat. 2439538 Russian Federation MPK G01N19/04. Method for controlling the quality of the bond]. Stated 14.10.2010; ublished 10.01.2012, Bulletin. № 1.-3p.: illustration.
4. Chubinskiy A.N., Medov V.S. *Obosnovanie metodiki ispytaniya kleevykh soedineniy drevesiny na prochnost' pri skalyvanii* [Justification the test method for wood adhesive joints at shear strength]. Proceedings of the St. Petersburg State Forestry Academy, vol. SPb.: SPbGLTA, 2015. pp. 180-189.
5. Karmadonov A.N. *Defektoskopiya drevesiny* [Wood inspection]. Moscow: Forest Industry, 1987. 120 p.
6. Chubinsky A.N., Okuma Motoaki, Sugiyama Junji *Observation on the Deformation of Wood Cells in the Gluing process of Veneer* [Observation on the Deformation of Wood Cells in the Gluing process of Veneer]. Bulletin of the Tokyo University Forests. Tokyo: Tokyo University, 1990. № 82. pp. 131-135.
7. Chubinskiy A.N., Tambi A.A., Teppoev A.V., Anan'eva N.I., Semishkur S.O., Bakhshieva M.A. *Fizicheskie nerazrushayushchie metody ispytaniya i otsenka struktury drevesnykh materialov* [Physical non-destructive testing and evaluation of the structure of wood materials]. Defectoscopy. Ekaterinburg: Publishing House of Science, № 11, 2014, pp. 76-84.]
8. Chubinskiy A.N., Tambi A.A., Fedyaev A.A., Fedyaeva N.Yu., Kul'kov A.M. *Napravleniya ispol'zovaniya fizicheskikh metodov kontrolya struktury i svoystv drevesiny* [Use of physical methods to control the structure and properties of wood]. Systems. Methods. Technology. Bratsk.: BrSU, 2015, № 2 (26). pp. 152-158.]
9. Chauzov K.V., Tambi A.A. *Issledovanie struktury kleevykh soedineniy metodom mikrotomografii* [Investigation of the structure of adhesive joints by microtomography]. Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University (Science magazine KubGAU). Krasnodar: KubGAU, 2014. № 09 (103), p. 1-10. Access: <http://ej.kubagro.ru/2014/09/pdf/54.pdf>.
10. Varankina G.S., Chubinskiy A.N. *Obosnovanie mekhanizma modifikatsii fenolo- i karbamidoformal'degidnykh kleeв shungitovymi sorbentami* [Justification mechanism modification phenol and urea-formaldehyde adhesives by shungite sorbents]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, № 2. 2014. pp. 108-112.
11. Chubinskiy A.N., Tambi A.A., Shimkevich Yu.A., Semishkur S.O. *Issledovanie razmernykh kharakteristik trakheid sosny Leningradskoy oblasti* [Research dimensional characteristics pine tracheids Leningrad region] Actual problems and prospects of development of the timber industry: Materials of the II International Scientific and Technical Conference. Kostroma: KSTU Publishing House, 2013, pp. 27-29.

ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОГО ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ НА СВОЙСТВА ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНОГО МАТЕРИАЛА

В.И. ЗАПРУДНОВ, проф., МГУЛ, д-р техн. наук⁽¹⁾

zaprudnov@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1

Сравнение эффективных свойств древесно-цементных материалов, полученных в результате теоретических и экспериментальных исследований, показывает, что экспериментальные значения лежат ниже расчетных. Это расхождение обусловлено тем, что древесно-цементные композиты содержат большое количество пор, которые существенно уменьшают его жесткостные и прочностные характеристики. Определение эффективных свойств композиционных материалов на основе органического заполнителя и цементного вяжущего, ослабленного порами, проводится в два этапа. На первом этапе определяют макроскопические постоянные пористого цементного вяжущего, рассматривая поры как некоторый компонент с нулевыми модулями упругости. На втором этапе определяются макроскопические постоянные древесно-цементного материала по известным свойствам пористого цементного вяжущего и органического заполнителя. По мере увеличения концентрации заполнителя в композиционном материале упругие характеристики последнего снижаются, и тем сильнее, чем выше пористость цементного камня. Это снижение обусловлено большей разницей величин упругих показателей цементного камня и заполнителя. Подобные закономерности проявляются и в древесно-минеральных композитах с зернистым заполнителем, однако при использовании волокнистого заполнителя наблюдается различная степень влияния этих факторов на эффективные модули упругости в различных направлениях. Данные изменения наиболее отражаются на модулях упругости и сдвига, что объясняется низкими упругими показателями заполнителя в тангенциальном направлении.

Ключевые слова: эффективные свойства, древесно-цементные композиты, макроскопические постоянные.

Сравнение эффективных свойств древесно-цементных материалов, полученных в результате теоретических и экспериментальных исследований, показывает, что экспериментальные значения лежат ниже расчетных [1]. Это расхождение обусловлено тем, что древесно-цементные композиты содержат большое количество пор, которые существенно уменьшают его жесткостные и прочностные характеристики.

Определение эффективных свойств композиционных материалов на основе органического заполнителя и цементного вяжущего, ослабленного порами, проводится в два этапа. На первом этапе определяют макроскопические постоянные пористого цементного вяжущего, рассматривая поры как некоторый компонент с нулевыми модулями упругости. На втором этапе определяются макроскопические постоянные древесно-цементного материала по известным свойствам пористого цементного вяжущего и органического заполнителя.

Рассмотрим однонаправленный древесно-цементный материал с пористым изотропным вяжущим и трансверсально-изотропными частицами органического заполнителя, направленными вдоль оси x_1 (рис. 1).

Если рассматривать пористое цементное вяжущее как двухкомпонентный матричный композит с нулевой жесткостью включений, то, исходя из выражений для вычисления эффективных модулей объемного сжатия [1]

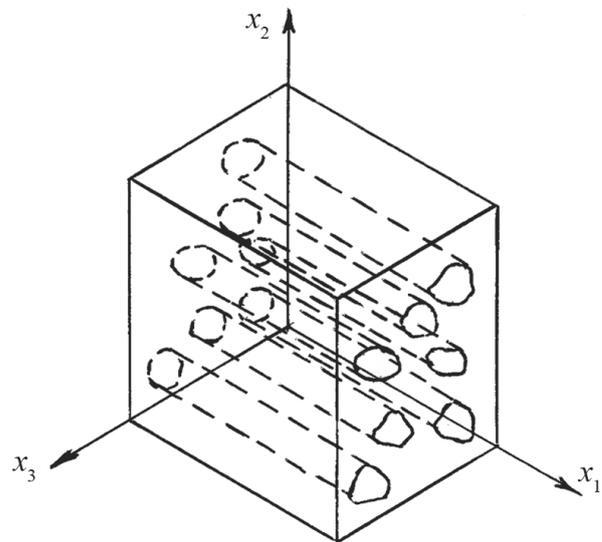


Рис. 1. Схема механической модели структуры древесно-цементного материала с однонаправленными (ориентированными) частицами

Fig. 1. Scheme of mechanical models of wood-cement material structure with unidirectional (oriented) particles

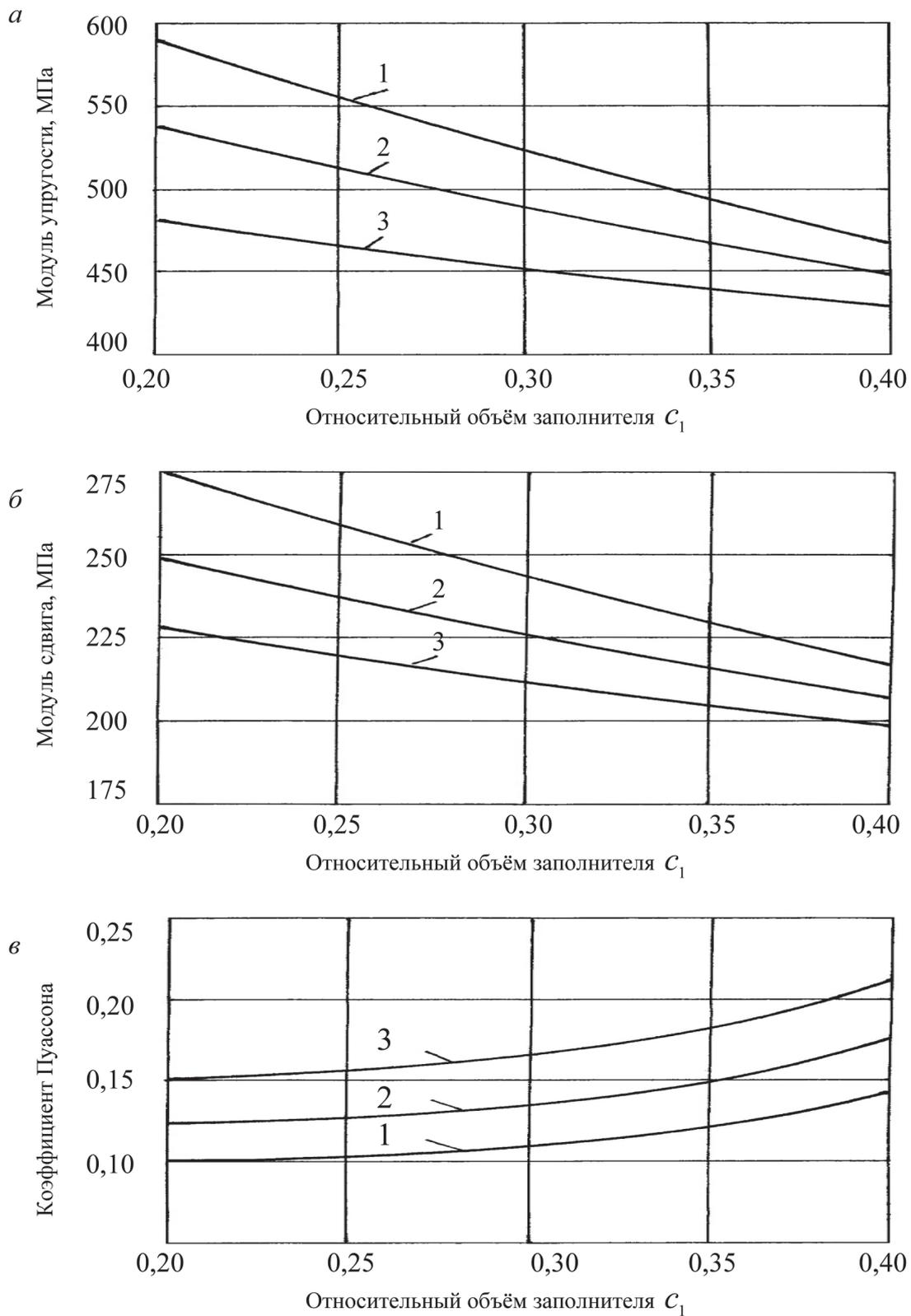


Рис. 2. Зависимость расчетных эффективных упругих постоянных: *a* – модуля упругости, *б* – модуля сдвига, *в* – коэффициента Пуассона древесно-цементного композита от относительного объема заполнителя C_1 при величине пористости: 1 – $p = 0,3$; 2 – $p = 0,4$; 3 – $p = 0,5$

Fig. 2. Dependence of calculated effective elastic constants: *a* – the modulus of elasticity, *b* – shear modulus, *in* – Poisson coefficient of wood-cement composite of the relative volume of the filler at a value C_1 porosity: 1 – $p = 0,3$; 2 – $p = 0,4$; 3 – $p = 0,5$.

$$K^* = \left(\sum_{v=1}^4 \frac{c_v}{K_v + \bar{K}} \right)^{-1} - \bar{K} \quad (1)$$

и сдвига

$$\mu^* = \left(\sum_{v=1}^4 \frac{c_v}{\mu_v + \bar{\mu}} \right)^{-1} - \bar{\mu}, \quad (2)$$

где обозначено

$$\bar{K} = \frac{4}{3} \mu_c; \quad \bar{\mu} = \frac{(9K_c + 8\mu_c)\mu}{6(K_c + 2\mu_c)}$$

Также используем формулы для определения эффективных объемных модулей плоской деформации k^* поперечной m^* и продольной μ^* модули сдвига, продольный модуль Юнга E^* , поперечный коэффициент Пуассона при растяжении вдоль волокон ν^* и термические коэффициенты β_1^*, β_3^* [1]

$$\begin{aligned} k^* &= \langle k \rangle - \frac{c_1 c_2 (k^1 - k^2)^2}{c_1 k^2 + c_2 k^1 + m}; \\ m^* &= \langle m \rangle - \frac{c_1 c_2 (m^1 - m^2)^2}{c_1 m^2 + c_2 m^1 + \frac{mn}{n+2m}}; \\ \mu^* &= \langle \mu \rangle - \frac{c_1 c_2 (\mu^1 - \mu^2)^2}{c_1 \mu^2 + c_2 \mu^1 + s}; \\ E^* &= \langle E' \rangle + \frac{4c_1 c_2 (v'^1 - v'^2)^2 k^1 k^2 m}{k^1 k^2 + \langle k \rangle m}; \\ \nu^* &= \langle \nu \rangle + \frac{c_1 c_2 (v'^1 - v'^2)(k^1 - k^2)m}{k^1 k^2 + \langle k \rangle m}; \\ \beta_1^* &= \langle \beta_1 \rangle - \frac{c_1 c_2 (k^1 - k^2)(\beta_1^1 - \beta_1^2)}{c_1 k^2 + c_2 k^1 + m}; \\ \beta_3^* &= \langle \beta_3 \rangle - \frac{c_1 c_2 (2k^1 v'^1 - 2k^2 v'^2)(\beta_1^1 - \beta_1^2)}{c_1 k^2 + c_2 k^1 + m}; \end{aligned} \quad (3)$$

где m, n, s определяются по формулам (2.131) [1], а модули λ_{ij}^q и постоянные $k^q, m^q, \mu^q, \nu^q, E'^q$ связаны соотношениями

$$\begin{aligned} \lambda_{11}^q &= k^q - m^q; \quad \lambda_{12}^q = k^q + m^q; \\ \lambda_{13}^q &= 2k^q \nu^q; \\ \lambda_{33}^q &= E'^q + 4k^q (\nu^q)^2; \quad \lambda_{44}^q = \mu^q. \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь $q = 1, 2, *$ соответственно для органического заполнителя, цементного вяжущего и древесно-цементного композита.

Получим зависимости эффективных модулей объемного сжатия K^* , сдвига μ^* , термического коэффициента напряжения β^* и коэффициента линейного температурного рас-

ширения α^* от пористости p для изотропного пористого цементного вяжущего

$$\begin{aligned} K^* &= \frac{4K_2 \mu_2 (1-p)^2}{4\mu_2 + (3K_2 - 4\mu_2)p}; \\ \mu^* &= \frac{(9K_2 + 8\mu_2)\mu_2 (1-p)^2}{9K_2 + 8\mu_2 - (3K_2 - 4\mu_2)p}; \\ \beta^* &= \frac{4\beta_2 \mu_2 (1-p)^2}{4\mu_2 + (3K_2 - 4\mu_2)p}; \quad \alpha^* = \alpha_2, \end{aligned} \quad (5)$$

где p – пористость цементного вяжущего;

$K^2, \mu^2, \beta^2, \alpha^2$ – модули объемного сжатия и сдвига, коэффициент термического напряжения и линейного температурного расширения затвердевшего цементного вяжущего.

Если перейти к модулям Юнга E^*, E_2 и коэффициентам Пуассона ν^*, ν_2 , то зависимости будут

$$\begin{aligned} E^* &= E_2 \frac{(1-p)^2}{1+n_2 p}; \quad \nu^* = \frac{\nu_2 + m_2 p}{1+n_2 p}; \\ n_2 &= \frac{(5\nu_2 - 1)(1-3\nu_2)}{2(7-5\nu_2)}; \\ m_2 &= \frac{(1-5\nu_2)(3-\nu_2)}{2(7-5\nu_2)}. \end{aligned} \quad (6)$$

Согласно (5), эффективные термоупругие постоянные пористого изотропного цементного вяжущего определяются формулами

$$\begin{aligned} K_{2p} &= \frac{4(1-p)^2 K_2 \mu_2}{3pK_2 + 4(1-p)\mu_2}; \\ \mu_{2p} &= \frac{(1-p)^2 \mu_2 (9K_2 + 8\mu_2)}{9K_2 + 8\mu_2 - (3K_2 - 4\mu_2)p}; \\ \lambda_{2p} &= K_{2p} - \frac{2}{3} \mu_{2p}; \\ \beta_{2p} &= \frac{4(1-p)^2 \beta_2 \mu_2}{3pK_2 + 4(1-p)\mu_2}. \end{aligned} \quad (7)$$

В случае, когда частицы органического заполнителя являются трансверсально-изотропными с плоскостью изотропии $x_1 x_2$, зависимости между макронапряжениями, макродеформациями и температурой в пористом древесно-цементном материале имеют вид

$$\begin{aligned} \langle \sigma_{kl} \rangle &= \lambda_{12}^* \langle \varepsilon_{rr} \rangle \delta_{kl} + \lambda_{13}^* \langle \varepsilon_{33} \rangle \delta_{kl} + \\ &+ 2\lambda_{66}^* \langle \varepsilon_{kl} \rangle - \beta_1^* \theta \delta_{kl}; \\ \langle \sigma_{33} \rangle &= \lambda_{13}^* \langle \varepsilon_{rr} \rangle + \lambda_{33}^* \langle \varepsilon_{33} \rangle - \beta_3^* \theta; \\ \langle \sigma_{k3} \rangle &= 2\lambda_{44}^* \langle \varepsilon_{k3} \rangle; \\ (k, l, r &= 1, 2), \end{aligned} \quad (8)$$

а эффективные постоянные определяются по формулам

$$\lambda_{11}^* + \lambda_{12}^* = c_1 \left\langle \lambda_{11}^1 + \lambda_{12}^1 \right\rangle + 2c_{2p} (\lambda_{2p} + \mu_{2p}) - \frac{c_1 c_{2p} [\lambda_{11}^1 + \lambda_{12}^1 - 2(\lambda_{2p} + \mu_{2p})]^2}{2c_1 (\lambda_{2p} + \mu_{2p}) + c_{2p} (\lambda_{11}^1 + \lambda_{12}^1) + 2m};$$

$$\lambda_{11}^* - \lambda_{12}^* = c_1 (\lambda_{11}^1 - \lambda_{12}^1) + 2c_{2p} \mu_{2p} - \frac{c_1 c_{2p} (\lambda_{11}^1 - \lambda_{12}^1 - 2\mu_{2p})^2}{2c_1 \mu_{2p} + c_{2p} (\lambda_{11}^1 - \lambda_{12}^1) + 2l};$$

$$\lambda_{13}^* = c_1 \lambda_{13}^1 + c_{2p} \lambda_{2p} - \frac{c_1 c_{2p} (\lambda_{13}^1 - \lambda_{2p}^1) [\lambda_{11}^1 + \lambda_{12}^1 - 2(\lambda_{2p} + \mu_{2p})]}{2c_1 (\lambda_{2p} + \mu_{2p}) + c_{2p} (\lambda_{11}^1 + \lambda_{12}^1) + 2m};$$

$$\lambda_{33}^* = c_1 \lambda_{33}^1 + c_{2p} (\lambda_{2p} + 2\mu_{2p}) - \frac{2c_1 c_{2p} (\lambda_{13}^1 - \lambda_{2p}^1)^2}{2c_1 (\lambda_{2p} + \mu_{2p}) + c_{2p} (\lambda_{11}^1 + \lambda_{12}^1) + 2m};$$

$$\lambda_{44}^* = c_1 \lambda_{44}^1 + c_{2p} \mu_{2p} - \frac{c_1 c_{2p} (\lambda_{44}^1 - \mu_{2p}^1)^2}{c_1 \mu_{2p} + c_{2p} \lambda_{44}^1 + s};$$

$$\beta_1^* = c_1 \beta_1^1 + c_{2p} \beta_{2p} - \frac{c_1 c_{2p} [\lambda_{11}^1 + \lambda_{12}^1 - 2(\lambda_{2p} + \mu_{2p})] (\beta_1^1 - \beta_{2p}^1)}{2c_1 (\lambda_{2p} + \mu_{2p}) + c_{2p} (\lambda_{11}^1 + \lambda_{12}^1) + 2m};$$

$$\beta_3^* = c_1 \beta_3^1 + c_{2p} \beta_{2p} - \frac{2c_1 c_{2p} (\lambda_{13}^1 - \lambda_{2p}^1) (\beta_1^1 - \beta_{2p}^1)}{2c_1 (\lambda_{2p} + \mu_{2p}) + c_{2p} (\lambda_{11}^1 + \lambda_{12}^1) + 2m}, \quad (9)$$

где c_1 , λ_{mn}^1 , β_m^1 – объемное содержание, упругие модули и коэффициенты термических напряжений частиц органического заполнителя;

c_{2p} , λ_{2p} , μ_{2p} , β_{2p} – объемное содержание и эффективные постоянные Ламе, коэффициент термического напряжения пористого цементного вяжущего, определяемые по формулам (6), причем при жесткости цементного вяжущего больше жесткости частиц органического заполнителя следует принимать

$$2m = c_1 (\lambda_{11}^1 - \lambda_{12}^1) + 2c_{2p} \mu_{2p};$$

$$2n = c_1 (\lambda_{11}^1 + \lambda_{12}^1) + 2c_{2p} (\lambda_{2p} + \mu_{2p});$$

$$s = c_1 \lambda_{44}^1 + 2c_{2p} \mu_{2p}; \quad l = \frac{nm}{n + 2m}. \quad (10)$$

На основе полученных формул были исследованы зависимости упругих постоянных пористого древесно-цементного матери-

ала от объемного содержания частиц заполнителя c_1 для различных значений пористости цементного вяжущего p . Численный анализ был проведен для древесно-цементных композитных материалов на основе древесного заполнителя с

$$E_1 = 6,0 \text{ ГПа}; \mu_1 = 2,2 \text{ ГПа}; \nu_1 = 0,35 \quad (11)$$

цементного камня с

$$E_2 = 40,0 \text{ ГПа}; \nu_2 = 0,2. \quad (12)$$

Объемное содержание компонентов в древесно-цементном композите изменялось в интервалах

$$0,3 \leq p \leq 0,5, \quad 0,2 \leq c_1 \leq 0,4. \quad (13)$$

На рис. 2 приведены зависимости модулей Юнга E^* , модулей сдвига μ^* коэффициентов Пуассона ν^* от относительного объемного содержания частиц заполнителя c_1 в композите для различных значений пористости цементного вяжущего p ($1 - p = 0,3$; $2 - p = 0,4$; $3 - p = 0,5$).

Анализ графиков, представленных на рис. 2, показывает, что по мере увеличения концентрации заполнителя в композиционном материале упругие характеристики последнего снижаются, и тем сильнее, чем выше пористость цементного камня. Это снижение обусловлено большей разницей величин упругих показателей цементного камня и заполнителя.

Подобные закономерности проявляются и в древесно-минеральных композитах с зернистым заполнителем, однако при использовании волокнистого заполнителя наблюдается различная степень влияния этих факторов на эффективные модули упругости в различных направлениях. Данные изменения наиболее отражаются на модулях упругости E^* и сдвига μ^* , что объясняется низкими упругими показателями заполнителя в тангенциальном направлении.

Библиографический список

1. Запруднов, В.И. Трехслойные конструкции с древесно-цементными теплоизоляционными слоями / В.И. Запруднов. – М.: МГУЛ, 2006. – 322 с.
2. Запруднов, В.И. Зависимость упругих постоянных древесно-цементного материала от объемного содержания компонентов / В.И. Запруднов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2015. – № 1. – Том 19. – С. 21 – 24.
3. Запруднов, В.И. Эффективные свойства древесно-цементных композитов / В.И. Запруднов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – № 5(97). – С. 203–205.

4. Запруднов, В.И. Методы расчета и прогнозирования прочности и деформации древесно-минерального композита / В.И. Запруднов, А.С. Щербаков // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – № 4(87). – С. 97–99.
5. Ванин, Г.А. Статистическая теория волокнистых сред / Г.А. Ванин // Механика композит. материалов. – 1982. – № 6. – С. 1043–1050.
6. Хорошун, Л.П. Прогнозирование эффективных свойств пьезоактивных композитных материалов / Л.П. Хорошун, Б.П. Маслов, П.В. Лешенко. – Киев: Наук. думка, 1989. – 206 с.
7. Эшелби, Дж. Континуальная теория дислокаций / Дж. Эшелби. – М.: Изд-во иностр. лит., 1983. – 248 с.
8. Щербаков, А.С. Прочность и деформации древесно-цементного композита / А.С. Щербаков, В.И. Запруднов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – № 5(97). – С. 200–203.
9. Санаев, В.Г. Описание деформаций и микроразрушений в условиях упруговязкопластической среды / В.Г. Санаев, Б.М. Рыбин, В.И. Запруднов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – № 3(86). – С. 92–96.

INFLUENCE OF THE POROUS CEMENT ROCK ON WOOD-CEMENT MATERIAL PROPERTIES

Zaprudnov V.I., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾

zaprudnov@mgul.ac.ru

⁽¹⁾Moscow State Forest University (MSFU) 1st Institutskaya St., 1, 141005, Mytischki, Moscow Region, Russia

The comparison of wood-cement materials' effective properties obtained as the result of theoretical and practical research show that experimental results lay lower than the theoretical ones. This difference is based on wood-cement composition materials' porosity, which sufficiently decreased their strength and stiffness performance. The determination of the effective properties of composition materials made of organic filling and the cement and weaken by pore spaces is made in two steps. At the first step, we determine the porous cement material macroscopic constants, considering the pore spaces as some component with zero elastic modulus. At the second step, we find the macroscopic constants of wood-cement material, using already known porous cement binder and organic filler properties. With the increase of filler concentration in the composite material, its elastic response decrease. More pore space in the cement rock causes more strength decrease. This can be explained by greater difference of cement and filler's elastic factors. The same rules appear also in wood-mineral composition materials based on granular filler. However, if fibrous filler is used, the different degree of impact of these factors on efficient elastic modules in various dimensions can be noticed. These changes mostly influent the elastic and transverse modulus and this can be explained by low elastic characteristics of the filler at tangential dimension.

Keywords: effective properties, wood-cement composition material, macroscopic constants.

References

1. Zaprudnov V.I. *Trekhsloynnye konstruksii s drevesno-tsementnymi teploizolyatsionnymi slojami* [Three-Ply Constructions with Wood-Cement with heat-insulating layers]. Moscow: MSFU, 2006. 322 p.
2. Zaprudnov V.I. *Zavisimost' uprugikh postoyannykh drevesno-tsementnogo materiala ot ob'emnogo sodержaniya komponentov* [Dependence of Wood-Cement material elastic constants on volumetric component share]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2015, № 1, Vol. 19, pp. 21-24.
3. Zaprudnov V.I. *Effektivnye svoystva drevesno-tsementnykh kompozitov* [Wood-Cement Composition Materials Effective Properties]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2013, № 5(97), pp. 203-205.
4. Zaprudnov V.I., Shcherbakov A.S. *Metody rascheta i prognozirovaniya prochnosti i deformatsii drevesno-mineral'nogo kompozita* [Calculation and Forecasting Methods of Strength and Deformation of Wood-Cement Composition Materials]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2012, № 4(87), pp. 97-99.
5. Vanin G.A. *Statisticheskaya teoriya voloknistykh sred* [Statistic Theory of Fibrous Structure]. Composition Materials Mechanics. 1982, № 6, pp. 1043-1050.
6. Khoroshun L.P., Maslov B.P., Leshchenko P.V. *Prognozirovanie effektivnykh svoystv p'ezoaktivnykh kompozitnykh materialov* [Piezoelectric Composition Materials Effective Properties Forecasting]. Kiev, Scientific Mind, 1989, 206 p.
7. Eshelbi Dzh. *Kontinual'naya teoriya dislokatsiy* [Continual Dislocation Theory]. Moscow: Foreign Literature Publishing House, 1983, 248 p.
8. Shcherbakov A.S., Zaprudnov V.I. *Prochnost' i deformatsii drevesno-tsementnogo kompozita* [Strength and Deformation of Wood-Cement Composition Material]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2013, № 5(97), pp. 200-203.
9. Sanaev V.G., Rybin B.M., Zaprudnov V.I. *Opisanie deformatsiy i mikrorazrusheniy v usloviyakh uprugoviyazkoplasticheskoy sredy* [Description of Deformation and Micro Destruction at Elastoviscoplastic Structure]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2012, № 3(86), pp. 92-96.

УДК 66.022

МОДЕЛЬ СТРУКТУРЫ ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

С.В. ЛОГИНОВА, доц. ПетрГУ, канд. физ.-мат. наук⁽¹⁾,
А.А. ЛАТУГА, магистрант ПетрГУ⁽¹⁾

svlog@petrsu.ru

⁽¹⁾ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»,
185910, Россия, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

Представлены результаты построения пространственных конфигураций атомов в области ближнего упорядочения аморфной целлюлозы, полученной путем механического измельчения микрокристаллической целлюлозы. Размол порошка микрокристаллической целлюлозы проводился в шаровой мельнице планетарного типа Pulverisette 7 premium line, использовалась агатовая размольная чаша объемом 20 мл и шары из агата диаметром 5 мм. Максимальное время размолки составляло шесть часов. Стартовые конфигурации формировались из различного числа пакетов слоев размером $1a \times 2b \times 2c$, где a, b, c – периоды элементарной ячейки целлюлозы $I\alpha$. Оптимизация геометрии путем минимизации энергии кластера осуществлялась с использованием алгоритма «крутого спуска». Рассчитанные для всех построенных моделей кривые распределения интенсивности рассеяния, кривые распределения s -взвешенной интерференционной функции, кривые распределения парных функций, кривые функций радиального распределения атомов, а также значения радиусов координационных сфер и координационные числа сравнивались с результатами рентгенографического эксперимента. Для количественной оценки степени совпадения кривых распределения интенсивности рассеяния рассчитывался профильный фактор недостоверности. Экспериментальные кривые распределения интенсивности рассеяния были получены на автоматизированном дифрактометре ДРОН-6.0 на MoK α -излучении в симметричной геометрии на прохождении и на отражении. Расчет количественных характеристик областей ближнего упорядочения (радиусов координационных сфер и их размытий, координационных чисел) аморфной целлюлозы проводился с использованием метода Финбака–Уоррена. Показано, что структура областей ближнего упорядочения целлюлозы, измельченной в шаровой мельнице в течение шести часов, может быть описана на основе кластеров малого размера (с общим числом атомов равным 504), содержащих искаженные целлюлозные цепочки, длина которых не превышает 25 Е, при сохранении конформации «кресло» элементарного звена и tg-конформации гидроксиметильных групп.

Ключевые слова: целлюлоза, измельчение в шаровой мельнице, область ближнего упорядочения, метод Финбака–Уоррена, пространственные конфигурации атомов.

Большой интерес вызывают разработки в области создания новых химических датчиков, представляющих собой композиционные материалы на основе трехмерной пористой целлюлозной матрицы [4–6]. Доминирующим механизмом таких газовых сенсоров, в ряде случаев, является изменение электрического сопротивления при взаимодействии молекулы химического вещества с составляющими композита, в том числе и с целлюлозной матрицей [4–6]. В качестве 3D матрицы может быть использована аморфная целлюлоза, полученная, например, механическим измельчением в шаровой мельнице, т. к. в результате размолки повышается реакционная способность целлюлозной матрицы, вызванная разрывом или изменением длин связей в макромолекулах, искажением или разрывом водородных связей между макромолекулами [1]. Такой способ создания трехмерной реакционноспособной полимерной матрицы является экологически чистым, т. к. происходит без химического воздействия на

целлюлозу, относительно дешевым, энерго- и ресурсосберегающим.

Получение сведений о структуре ближнего упорядочения аморфной целлюлозы является важным для интерпретации специфических свойств данного материала.

Исходным сырьем для получения аморфной целлюлозы была химически чистая микрокристаллическая целлюлоза (МКЦ) с размером частиц менее 40 мкм, содержанием воды порядка 5 масс. %, рН (10 г / л, 25°C) составлял 5.5. Степень кристаллическости МКЦ, рассчитанная модифицированным методом Руланда, составила 75 ± 5 % [7]. Области когерентного рассеяния, определенные в различных кристаллографических направлениях, анизотропны. Толщины и длины элементарных фибрилл составляли 53 ± 5 Е и 83 ± 5 Е соответственно. Методом Ритвельда [2] установлено, что МКЦ имеет структуру, характерную для целлюлозы I β с антипараллельным расположением цепочек. Уточненные значения параметров элементарной ячейки-

Сравнение характеристик ближнего порядка аморфной целлюлозы с соответствующими данными для целлюлозы Iβ с антипараллельным расположением цепочек

Comparing the characteristics of short-range order of the amorphous cellulose with the corresponding data for Iβ antiparallel arrangement of cellulose chains

Пары атомов	Эксперимент			Целлюлоза Iβ		
	r_{ij} , Е	N_{ij} , ат	σ_{ij} , Е	r_{ij} , Е	N_{ij} , ат	σ_{ij} , Е
С-О(1)	1,37	1,28±0,03	0,22	1,35	1,40	0,01
С-С(1)	1,57	1,67±0,04	0,27	1,52	1,74	0,01
О-О(1)	2,16	0,77±0,02	0,15	2,13	1,52	0,03
С-О(2)	2,38	2,18±0,05	0,43	2,39	1,90	0,02
С-С(2)	2,59	7,62±0,18	0,001	2,53	4,27	0,01

$\Delta r_{ij} = \pm 0,05$ Е, $\Delta \sigma_{ij} = \pm 0,05$ Е, $\Delta N_{ij} = \pm 0,1$ ат

ки равны: $a = 7,87$ Е, $b = 8,15$ Е, $c = 10,34$ Е, угол моноклинности составляет $96,3^\circ$.

Размол целлюлозы проводился в планетарной микромельнице Pulverisette 7 premium line в течение 6 часов. Была использована агатовая размольная чаша размером 20 мл и мелющие шары из агата 5 мм. Рентгенографирование образцов проводилось на автоматизированном дифрактометре ДРОН-6.0 на $\text{MoK}\alpha$ -излучении в симметричной геометрии на прохождение и на отражение.

Уже после трех часов размола МКЦ дифракционная картина представляет собой аморфное гало. Последующий размол вплоть до шести часов не дает каких-либо изменений на кривой распределения интенсивности рассеяния. На рис. 1 приведены кривые s-взвешенных интерференционных функций $H(s)$ исходной МКЦ и МКЦ после 6-часового размола.

Из кривой $H(s)$ была рассчитана кривая распределения парных функций $D(r)$, из которой, в свою очередь, методом Финбака–Уоррена [8] были определены характеристики ближнего порядка (радиусы координационных сфер r_{ij} , их размытия σ_{ij} и координационные числа N_{ij}) аморфной целлюлозы, представленные в табл. 1.

Анализ данных, представленных в табл. 1, показывает, что в процессе измельчения удлиняются С-С связи, что, вероятно, вызвано деформацией цепочек. При этом рассчитанное из эксперимента число атомов на первой С-С сфере согласуется с данными для моделей.

Различия в значениях координационных чисел первой О-О сферы могут быть связаны с изменением длин связей и их разрывом, происходящими при деформации. О

значительной деформации молекул целлюлозы свидетельствуют также большие значения дисперсий радиусов координационных сфер.

Кроме того, можно утверждать, что в результате размола происходит разориентация цепочек и изменение длин и разрыв водородных связей между молекулами, о чем свидетельствует размытый по сравнению с исходным пик на кривой $H(s)$ размола при значении $s = 1,60$ Е⁻¹. Этот пик по положению соответствует межплоскостному расстоянию $d = 3,923$ Е. На данном расстоянии находятся усредненные плоскости колец соседних цепочек в элементарной ячейке целлюлозы.

Построение моделей структуры аморфной целлюлозы в области ближнего упорядочения проводилась следующим образом. Стартовые конфигурации формировались из пакетов слоев размером $1a \times 2b \times 2c$, где a ,

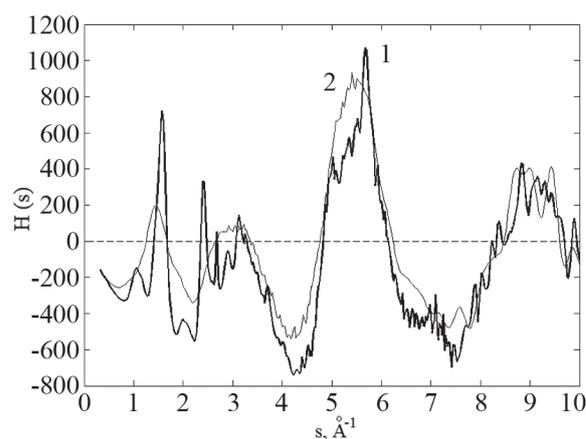


Рис. 1. Кривые интерференционных функций $H(s)$ исходной МКЦ (кривая 1) и МКЦ после размола (кривая 2)

Fig. 1. The curves of the interference function $H(s)$ of the original MCC (curve 1) and after milling MCC (curve 2)

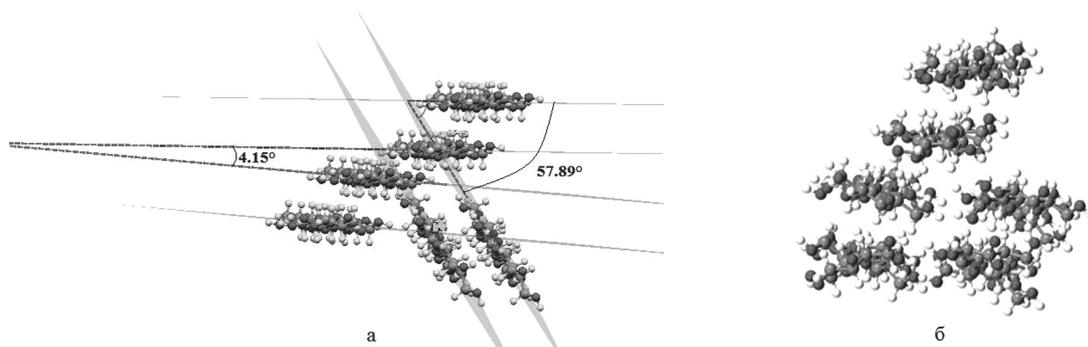


Рис. 2. Модель целлюлозы из трех пакетов слоев до (а) и после (б) геометрической оптимизации
 Fig. 2. Model cellulose layers of three packages before (a) and after (b) optimizing the geometric

b , c – периоды элементарной ячейки целлюлозы $I\alpha$ [9]. Положение цепочек и расстояние между атомами в каждом пакете соответствовали структуре целлюлозы $I\alpha$. Форма $I\alpha$ была выбрана в связи с тем, что на элементарную ячейку данной модификации приходится одна целлюлозная цепочка. Варьировалось число слоев, расстояния между слоями и углы разориентации слоев друг относительно друга. На рис. 2 показана одна из стартовых конфигураций со следующими геометрическими параметрами: расстояние между ближайшими цепочками первого и второго слоя составляет 3,09 Е, а угол между ними 4,15°; угол между первым и третьим слоем равен 57,89°. Второй слой смещен относительно первого на 5,2 Е.

Затем проводилась оптимизация конфигурации путем минимизации ее энергии с использованием потенциала ММ+ [3]. Алгоритм «крутого спуска» приводил к искажению целлюлозных цепочек. Для всех полученных пространственных конфигураций атомов проводился расчет кривых распределения интенсивности рассеяния, s -взвешенных интерференционных функций, кривых распределения парных функций $D(r)$ и функций радиального распределения атомов $W(r)$, которые затем сравнивались с соответствующими экспериментальными кривыми. Для количественной оценки степени совпадения кривых распределения интенсивности рассеяния рассчитывался профильный фактор достоверности.

На рис. 3 (а, б) показано сравнение экспериментальных и теоретических кривых $I(s)$ и $H(s)$ образца и модели, представленной на рис. 2, после поиска минимума ее энергии. Общее число атомов в кластере равно 504 (рис. 2 б). Разме-

ры кластера в трех взаимно перпендикулярных направлениях составляют 23,4, 26,4 и 21,9 Е.

Наблюдается (рис. 3, а) хорошее совпадение рассчитанной кривой $I(s)$ с экспериментальной. Профильный фактор достоверности составляет 11,77 %.

На рис. 3 в, г приведены кривые распределения парных функций $D(r)$ и функции радиального распределения атомов $W(r)$ для исследуемого образца целлюлозы после помола и модели после геометрической оптимизации. Из сравнения кривых $D(r)$ и $W(r)$ можно сделать вывод, что структура модели более упорядочена.

Исходя из данных о пространственном расположении атомов модели, для которой удалось достичь минимального значения фактора достоверности, путем анализа атомного окружения выполнялись расчеты средневесовых значений радиусов объединенных координационных сфер и суммарных координационных чисел (табл. 2) путем объединения сфер по значениям их радиусов. Расчеты выполнялись как для всего кластера, так и для центральной его части радиусом 10 Е, для того, чтобы исключить влияние границ кластера. В том случае, когда расчеты велись для центральной части кластера, в расчетах участвовали 365 атомов из 504 атомов кластера. За пределами выбранной области находилось 34 атома углерода, 34 атома кислорода и 71 атом водорода.

Сравнение значений, рассчитанных для модели 2 после поиска минимума ее энергии, с соответствующими данными для исследуемого образца, представленными в табл. 2, показывает хорошее совпадение рассчитанных значений с экспериментальными.

Средневесовые значения радиусов объединенных координационных сфер и суммарные координационные числа, вычисленные для центральной части кластера радиусом 10Е, в сравнении с экспериментальными данными для измельченной целлюлозы

Hourly average values of the radii of coordination spheres and the combined total coordination number calculated for the central part of the cluster radius of 10 E, as compared with the experimental data for fluff pulp

№	Тип сфер	Центральная часть радиусом 10 Е				Эксперимент		
		r_{ij} , Е	N_{ij} , ат.	Объединенная сфера	$\langle r_{ij} \rangle$, Е	$\langle N_{ij} \rangle$, ат	r_{ij} , Е	N_{ij} , ат
1	О-Н	0,977	0,57	С-О	1,37	1,38	1,37	1,28±0,03
2	С-Н	1,092	1,16					
3	С-О	1,433	1,15					
4	С-С	1,555	1,66	С-С	1,56	1,66	1,57	1,67±0,04
5	Н-Н	1,774	0,20	О-О	2,18	1,37	2,16	0,77±0,02
6	О-Н	2,087	1,58					
7	С-Н	2,131	2,33					
8	Н-Н	2,305	1,42					
9	О-О	2,336	0,40	С-О	2,44	2,04	2,38	2,18±0,05
10	С-С	2,409	0,63					
11	С-О	2,441	1,81					

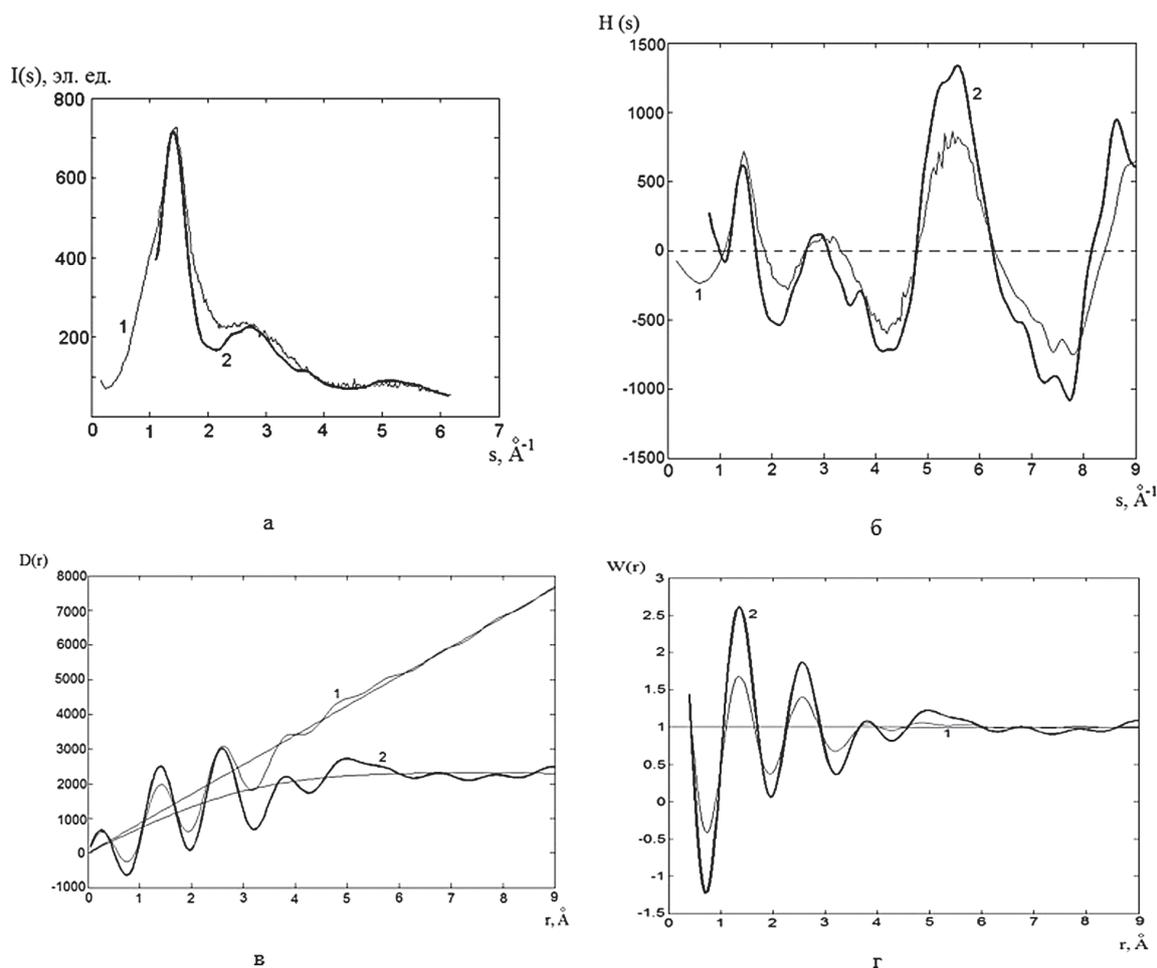


Рис. 3. Сравнение кривых а) распределения интенсивности рассеяния, б) s -взвешенных интерференционных функций, в) распределения парных функций и г) функций радиального распределения атомов для исследуемого образца (кривая 1) и модели после геометрической оптимизации (кривая 2)

Fig. 3. Comparison of curves a) scattering intensity distribution, б) the distribution of paired functions, and г) atomic radial distribution function for the test sample (curve 1) and after the geometric model optimization (curve 2)

Анализ расстояний и углов в конечной конфигурации атомов (рис. 2, б) позволяет сказать, что конформация «кресло» сохраняется. В элементарных звеньях целлюлозных цепочек различия в средних значениях межатомных расстояний С-С не превышают 0,03 Å, расстояний С-О – 0,01 Å, в средних значениях углов С-С-С – 1°, углов С-О-С – 2°, по сравнению со значениями для глюкопиранозных звеньев в исходном кластере. Среднее расстояние С-О для гликозидной связи изменяется на ±0,02 Å, среднее значение угла С-О-С – на ±1° по сравнению с данными для кристаллической модификации.

Средние значения торсионных углов, дающих представление о пространственном расположении глюкозных остатков друг относительно друга [10], попадают в интервал значений углов, характерных для исходного кластера. Максимальные отклонения от среднего в значениях этих углов достигают 20°.

Среднее значение торсионного угла, определяющего ориентацию в пространстве гидроксиметильной группы СН₂ОН, вычисленное для кластера после оптимизации энергии равно 168,4°, следовательно, транс-гош (tg-) конформация гидроксиметильных групп сохраняется.

Таким образом, механическая деструкция микрокристаллической целлюлозы в шаровой мельнице продолжительностью более трех часов приводит к образованию аморфной целлюлозы. Области ближнего упорядочения измельченной целлюлозы образованы искаженными целлюлозными цепочками, для которых сохраняется конформация «кресло»

элементарного звена и tg-конформация гидроксиметильных групп. Размеры кластеров не превышают 25 Е.

Библиографический список / References

1. Роговин, З.А. Химия целлюлозы : научное издание / З.А. Роговин. – М.: Химия, 1972. – 519 с. Rogovin Z.A. *Khimiya tsellyulozy* [Chemistry of cellulose]. Moscow: Khimiya Publ., 1972, 519 p.
2. Программа «Метод Ритвельда» № 2006610292 от 27.03.2006 // Программный комплекс PDWin-4.0. НПО «Буревестник». СПб., 2004. – 24 с. Programma «Metod Ritvel'da» № 2006610292 ot 27.03.2006 [Rietveld method programm] Programmnyy kompleks PDWin-4.0. NPO «Burevestnik». SPb, 2004, 24 p.
3. Дегтяренко, Н.Н. Описание программных пакетов для квантовых расчетов наносистем: учебное пособие. / Н.Н. Дегтяренко – М.: МИФИ, 2008. – 180 с. Dektyarenko N.N. Opisaniye programnih paketov dlya kvantovih raschetov nanosistem [Description of program packages for quantum calculations nanosystems]. Moscow: MIFI Publ., 2008, 180 p.
4. Haisong Qi., Jianwen Liu, Pionteck Jьrgen, Pitschke Petra, Mьder Edith. Carbon nanotube–cellulose composite aerogels for vapour sensing. *Sensors and Actuators. Chemical*. 2015. V. 213. pp. 20-26.
5. Pikulev V., Loginova S., Gurtov V. Luminescence properties of silicon-cellulose nanocomposite. *Nanoscale Research Letters*. 2012. Vol. 7. 426 p.
6. Pikulev V.B., Loginova S.V., Prokopovich P.F., Gurtov V.A. Structure, optical and electrical features of material composed by nanocellulose and silicon nanoparticles. Book of abstracts E-MRS Spring Meeting, Lille, France, 2014. pp. 1-26.
7. Terinte N., Ibbett R., Schuster K.C. Overview on native cellulose and microcrystalline cellulose I structures studies by X-ray diffraction (WAXD): comparison between measurement techniques. *Lenzinger Berichte*. 2011. Vol. 89. pp. 118-131.
8. Aleshina L.A. Short range order in powder of amorphous anodic yttrium oxide. *Crystallography Reports*. 2003. Vol. 48. № 4. pp. 531-535.
9. Aabloo A., French A. Preliminary potential energy calculations of cellulose Ia crystal structure. *Macromolecular Chemistry, Theory and Simulating*. 1994. Vol. 2. pp. 119-125.
10. Zugenmaier, P. *Crystalline Cellulose and Derivatives. Characterization and Structures*. Springer. 2008. 285 p.

STRUCTURE MODEL OF BALL-MILLED CELLULOSE

Loginova S.V., Assoc. Prof. PetrSU, Ph.D (Phys. and Math.)⁽¹⁾, Latuga A.A., pg. PetrSU⁽¹⁾

svlog@petsu.ru

Petrozavodsk State University, 33, Lenin Av., 185910, Petrozavodsk, Russia

We carried out the 3D models of short-range order in amorphous cellulose. The amorphous cellulose was obtained by ball milling of microcrystalline cellulose. The powder of microcrystalline cellulose was introduced into a 20 ml agate bowl and the milling was performed with zirconium balls (5 mm diameter) from planetary Pulverisette 7 premium line. 6 h was the maximum time of milling. Initial configuration formed from different packet of layers with 1a×2b×2c size, where a, b, c – the unit cell parameters of cellulose Ia. Geometry optimization by minimizing the energy of the cluster was carried out using the algorithm «steep descent». The X-Ray diffraction patterns, the curves of s-weighted interference function, pair distribution function, radial distribution functions of the atoms, and the radii of coordination spheres and coordination numbers were calculated for all 3D models and compared with experimental curves and experimental data. The profile R-factor was calculated for the quantitative analysis of the degree of discrepancy between experimental and calculated X-Ray diffraction patterns. The experimental scattering intensity distribution curves were obtained on diffractometer DRON-6.0 on MoKα-radiation in a symmetric geometry. Calculation of the quantitative characteristics of the short-range order (radii of coordination spheres and their dispersions, coordination numbers) of amorphous cellulose was carried out by using the Finbak-Warren method. It is shown that the structure of the short range order of ball-milled cellulose can be described on the basis of small clusters (about 504 atoms) containing distorted cellulose chains with length does not exceed 25 Е, with conformation «chair» of elementary unit and tg- conformation of hydroxymethyl groups.

Keywords: cellulose, ball-milling, short range order, Finback-Warren method, 3D structure models.

УДК 665.3.012.1

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОПИТОЧНЫХ СИСТЕМ С НАНОЧАСТИЦАМИ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ

О.П. ПРОШИНА, доц., МГУЛ, канд. хим. наук⁽¹⁾,
Х.А. ФАХРЕТДИНОВ, доц., МГУЛ, канд. техн. наук⁽¹⁾,
А.Н. ИВАНКИН, проф., МГУЛ, д-р. хим. наук⁽¹⁾,
Е.А. КАПУСТИНА, магистр МГУЛ⁽¹⁾

aivankin@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ФГБОУ ВО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1

Настоящая работа является продолжением исследований влияния способов пропитки различными композициями кремнийорганических соединений с органическими модификаторами на свойства древесины мягких лиственных пород. С этой целью были изучены основные физико-механические свойства древесины березы, пропитанной растворами карбамида в сравнении с растворами кремнийорганических соединений в присутствии и отсутствии металлических наночастиц. Определены теоретические и практические подходы к вопросу гидрофобизации и модификации физико-механических свойств, в частности прочности при статическом изгибе, ударной вязкости, статической твердости, а также равновесного набухания в различных пропитывающих системах и водопоглощения модифицированной древесины березы. Использовали импрегнирующие растворы, в качестве которых применяли 10 % водный раствор мочевины, 10 % водный раствор мочевины с 0,5 % суспензией Ag-наночастиц, 5 % раствор гамма-аминопропилтриэтоксисилана марки Z6011 в воде, 5 % раствор Z6011 с 0,5 % суспензией Ag-наночастиц. Показано, что обработка древесины березы 5 % раствором карбамида позволяет достигать максимальных значений нагрузки образцов 2400–3600 Н, 2300–3500 Н для системы с гамма-аминопропилтриэтоксисилоном против 1800–3300 Н для необработанной древесины. Величина максимальной нагрузки при статическом изгибе для пропиточных систем практически не уступала образцам без пропитки и тепловой обработки. Значения работы разрушения испытанных изделий составляли 12–46 Дж. Определены средние значения статической твердости поверхности древесины, которые составили 28–57 Н/мм². В результате проведенных испытаний выраженного влияния использованных наночастиц серебра на прочностные характеристик образцов древесины выявлено не было. Однако использование наночастиц позволило визуально контролировать процесс пропитки.

Ключевые слова: органосилоксаны, древесина березы, наночастицы Ag, пропитка.

Технология импрегнирования древесины известна достаточно давно [1–4]. Известно, что биодegradация древесины происходит за счет действия вредных насекомых и микроорганизмов. Она разрушается под действием влаги, кислорода воздуха и ультрафиолетового излучения. Древесные материалы для долговременной эксплуатации подвергают защитной обработке антисептическими составами [5–7]. Другой важнейшей причиной необходимости пропитки является горючесть древесины, что требует использования в пропиточных составах специальных антипиренов [8]. Древесина является хорошим конструкционным, строительным и декоративным материалом, и обычно ее рассматривают как «экологичный», то есть благоприятный во всех отношениях для человека материал [9, 10]. Однако существенным конструкционным недостатком древесины является повышенное влагосодержание – способность поглощать влагу из

окружающей среды [11]. Абсорбция воды в количестве 10–70 % от массы изделия может приводить к изменениям геометрии материала до 30–40 %, что существенно ограничивает возможности древесины как конструкционного материала [2, 12]. Все названные причины требуют использования специальной пропитки.

Основными техническими приемами модифицирования древесины являются пропитка, прессование и термическая обработка древесины [1]. В нашей стране сложились четыре основных направления модифицирования древесины, отраженные в государственном стандарте – термохимическое, термомеханическое, химико-механическое и радиационно-химическое [6].

Наиболее хорошо изученными и широко применяемыми способами улучшения свойств древесины являются ее антисептирование и антипирирование. Сравнительный анализ способов модифицирования древеси-

ны по степени реализации задач модифицирования представлен в обзорах [2, 3, 6, 9].

Настоящая работа является продолжением исследований влияния пропитки кремнийорганическими соединениями (КОС) на свойства древесины мягких лиственных пород [12–16].

Целью работы является исследование основных физико-механических свойств древесины березы, пропитанной растворами карбамида и растворами КОС в присутствии и отсутствии металлических наночастиц.

Испытания образцов древесины березы на определение прочности при статическом изгибе проводились в соответствии с ГОСТ 16483 [17].

Использовали образцы в форме прямоугольной призмы с поперечным сечением 20х20 мм и длиной вдоль волокон 300 мм. Для проведения испытаний использовалась машина испытательная ГОСТ 28840 [18], обеспечивающая заданную скорость нагружения образца или перемещения нагружающей головки. Нагрузка изменялась с погрешностью не более 1 %. В работе применялось приспособление, обеспечивающее изгиб образца приложением нагрузки к его боковой поверхности в середине расстояния между центрами опор, радиус закругления опор и нагружающего ножа составлял 30 мм. Использовался штангенциркуль ГОСТ 166 [19] с погрешностью измерения не более 0,1 мм.

Испытания на определение ударной вязкости проводились в соответствии с ГОСТ 20571 [22]. Для определения ударной вязкости использовался копер маятниковый типа БКМ-5-2 с запасами энергии маятника копра 2,5 и 50 Дж, расстояние между опорами составляло 100 мм. Ударную вязкость определяли на образцах размерами 20 × 20 × 300 мм.

Испытания древесины на статическую твердость проводили на испытательной машине (ГОСТ 28840) с наибольшей предельной нагрузкой 50 кН [23]. Приспособление, состоящее из корпуса, пуансона с наконечником в виде полусферы радиусом 5,64 мм и индикатором с погрешностью измерения не более 0,01 мм. Статическую твердость

определяли на поверхностях тангенциального, радиального и поперечного разрезов древесины. Пуансон вдавливали на глубину 5,64 мм, а в случае раскалывания образца – на 2,82 мм. Допускается вдавливать пуансон с постоянной скоростью от 3 до 6 мм/мин.

Пропитка образцов древесины березы растворами мочевины и растворами кремнийорганических соединений подробно описана в работе [13].

В дальнейшем пропитку образцов древесины осуществляли двумя способами. Для равновесного набухания образцы древесины, изделия в виде брусков 5 × 5 × 5 см, помещали в импрегнирующие растворы, в качестве которых применяли: 1–10 % водный раствор мочевины, 2–10 % водный раствор мочевины с 0,5 % суспензией Ag-наночастиц, 3–5 % раствор гамма-аминопропилтриэтоксисилана (марки Z6011) в воде, 4–5 % раствор Z6011 с 0,5 % суспензией Ag-наночастиц. Образцы выдерживали в указанных растворах в течение 7 сут. при комнатной температуре для равновесной пропитки или использовали для вакуумного импрегнирования.

Суспензию Ag-наночастиц получали аналогично [20]. Для этого был выбран метод восстановления азотнокислой соли в 50 % водно-спиртовой среде под воздействием формальдегида. Реакцию проводили смешением 1:1 0,06 М растворов нитрата Ag с 25 % раствором аммиака, с последующим прибавлением равных объемов этанола и 1 % формальдегида и нагреванием при 30 °С в течение суток. Получались модельные 0,5 % нанозоли со средним диаметром частиц по Рэлею около 50 нм [21].

Образцы древесины с влажностью 22 % подвергали вакуумированию при 70 °С в течение 48 ч при 35 мВаг, затем камеру автоклава заполняли импрегнирующим раствором и выдерживали образцы под давлением 10 атм в течение 24 ч, затем раствор удаляли и образцы подвергали повторному вакуумированию в указанных условиях в течение 3 ч.

Образцы древесины березы пропитывались водными растворами. Из них готови-

Максимальные значения нагрузки образцов модифицированной древесины и контрольных образцов
The maximum load of wood samples modified and control samples

CO(NH ₂) ₂ 10 %		Без пропитки при 110°C		Z-6011 5 %		Без пропитки и тепловой обр.	
№ обр.	max. нагрузка, Н	№ обр.	max. нагрузка, Н	№ обр.	max. нагрузка, Н	№ обр.	max. нагрузка, Н
1	2450	1	2500	1	3460	1	2660
2	2400	2	1850	2	3300	2	2680
3	2460	3	1800	3	3100	3	3040
4	2600	4	3300	4	3210	4	3490
5	3310	5	2880	5	3500	5	3350
6	3650	6	2950	6	2400	6	3250
7	3340	7	3050	7	2330	7	3470
8	2460	8	2850	8	2470	8	3230
9	2640	9	2880	9	2950	9	2990
10	2880	10	3250	10	2550	10	2750
11	2370	11	2860	11	3000	11	2520
12	1880	12	2500	12	2700	12	2540
13	2600	13	3250	13	3000	13	2630
14	3600	14	2860	14	2650	–	–
15	2730	15	2500	15	2800	–	–
16	2570	16	2180	16	3550	–	–
17	2560	17	2850	17	3000	–	–
18	2650	18	3440	18	2700	–	–
19	3040	19	3300	19	3000	–	–

Т а б л и ц а 2

Значения работы разрушения (A) образцов модифицированной древесины и контрольных образцов
The values of the fracture (A) of the samples of modified wood and the control samples

CO(NH ₂) ₂ 10 %		без пропитки при 110°C		Z-6011 5 %		без пропитки и без тепловой обр.	
№ обр.	Дж	№ обр.	Дж	№ обр.	Дж	№ обр.	Дж
1	27,5	1	36,5	1	38	1	35
2	45,5	2	47	2	42	2	35,2
3	27	3	43	3	50	3	35
4	22	4	46,5	4	34,5	4	12
5	39,8	5	11	5	14	5	16
6	29	6	19	6	30	6	11,8
7	28	7	50	7	22	7	21
–	–	–	–	8	44,5	8	19

ли партии образцов, которые высушивались при температуре 110 °С. Затем образцы подвергались испытаниям на водопоглощение. Для этого они помещались в дистиллированную воду, нагревались в СВЧ печи до температуры кипения и выдерживались в воде при комнатной температуре в течение 20 ч. Затем проводились измерения массы и размеров образцов.

В табл. 1 представлены результаты на испытание прочности при статическом

изгибе образцов древесины березы, подвергнутых пропитке при нормальном давлении путем погружения в раствор при комнатной температуре.

По результатам эксперимента составлена диаграмма средних значений нагрузок групп образцов P_{max} , где P_{max} – максимальная нагрузка при статическом изгибе (рис. 1).

Результаты испытания на определение ударной вязкости древесины березы даны в табл. 2.

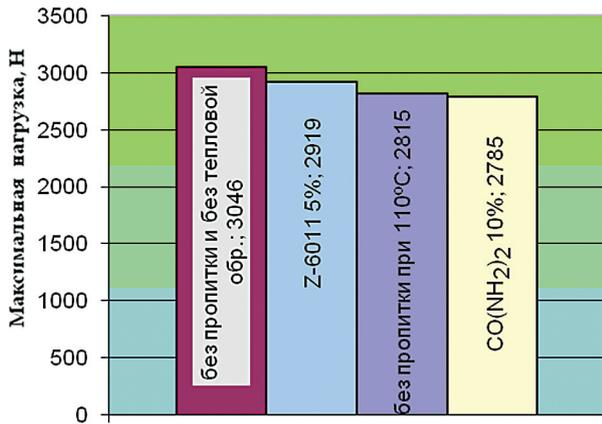


Рис. 1. Диаграмма значений максимальных нагрузок при статическом изгибе (указаны значения P_{max} для изученных систем)

Fig. 1. Diagram of maximum load values in static bending (P_{max} indicates the values for the studied systems)

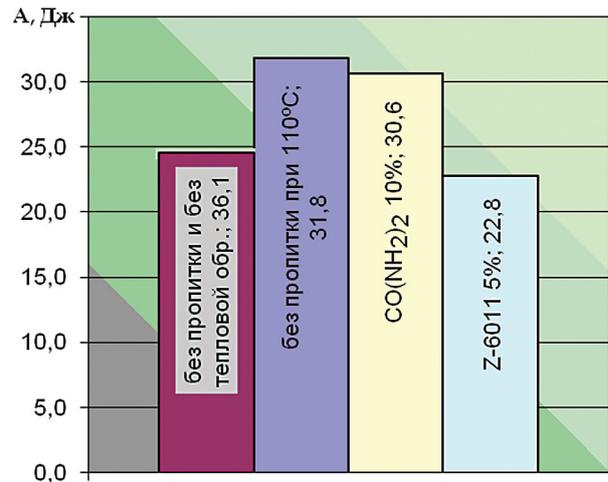


Рис. 2. Диаграмма средних значений работы разрушения (указаны максимальные значения)

Fig. 2. Diagram of average values of the fracture (indicated maximum values)

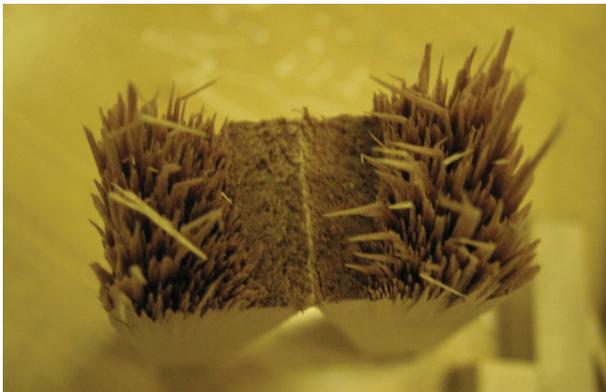


Рис. 3. Продольное разрушение образцов
Fig. 3. Longitudinal destruction of samples



Рис. 4. Поперечное разрушение образцов
Fig. 4. Cross the destruction of samples

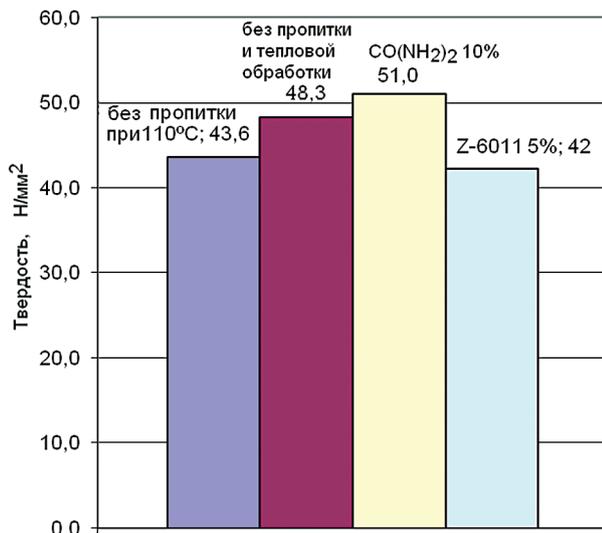


Рис. 5. Диаграмма средних значений твердости. Тангенциальный разрез

Fig. 5. The graph of average hardness values. Tangential section of

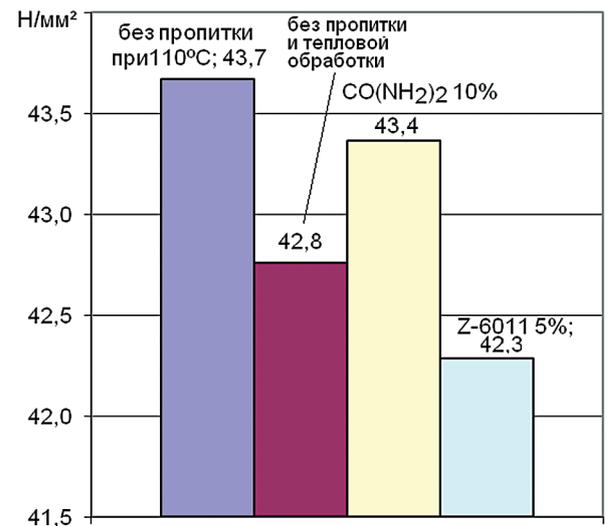


Рис. 6. Диаграмма средних значений твердости. Радиальный разрез

Fig. 6. Diagram of average hardness values. Radial Cut

Значения твердости поверхности для образцов древесины березы
The values of surface hardness for birch wood samples

Маркировка образца	Твердость поверхности, Н/мм ²		
	поперечный разрез, H'_{\perp}	радиальный разрез, H'_{\parallel}	тангенциальный разрез, H'_{τ}
Образцы без пропитки, терм.обработка при 110°C			
1	46	46	52
2	48,5	52	57,5
3	61	38,4	42
4	6350	53,4	28
5	36	41,7	42
6	48	30,5	40
Образцы из натуральной древесины			
1	39,5	39,5	48,5
2	59,5	49	53,5
3	54	55	52,5
4	56	40,8	45
5	42	29,5	42
Образцы, пропитанные 10 % р-ром CO(NH ₂) ₂			
1	47,5	43,5	56
2	43,5	41	54,6
3	49	43	53,5
4	55	44,1	51
5	50,5	47,8	57,5
6	37	44	43
7	42	44,5	44
8	57	39	54
Образцы, пропитанные 5 % р-ром Z-6011			
1	47	39	46,5
2	48,5	45	46,8
3	49	39	45
4	38	35,5	-
5	51,5	38	32
6	47	57,2	41

По результатам эксперимента была составлена диаграмма средних значений работы разрушения, рис. 2. На рис. 3, 4 представлены типичные фотограммы разрушенных образцов.

Результаты испытаний образцов березы на статическую твердость приведены в табл. 3.

На рис. 5, 6 представлены диаграммы средних значений твердости (Тв).

Таким образом, в результате проведенных исследований процесса пропитки березовой древесины органосилоксанами были подобраны условия обработки, позволяющие получать деловую древесину с улучшенными физико-механическими характеристиками.

Поскольку главной задачей модифицирования древесины является получение материалов с заданными свойствами, мы использовали более эффективный способ глубокой пропитки древесины – путем вакуумирования с последующим давлением.

Известно, что обычная пропитка древесины позволяет осуществлять проникновение импрегнирующих веществ на глубину несколько миллиметров, формируя, в основном, поверхностный защитный слой [2, 10]. Представляло интерес получить образцы импрегнированной древесины по всему объему материала. Для этого в пропиточные составы вводили суспензию наночастиц Ag, которые в силу очень малых размеров должны беспрепятственно проникать в структу-

ру древесины. Система наночастиц имеет черную окраску, которую можно наблюдать визуально. Образцы соответственно подвергали пропитке по второму описанному варианту.

Полученные образцы подвергали испытанию на влагопоглощение в течение 60 сут. Результаты представлены в виде зависимости изменения влагосодержания (W) от времени и даны на рис. 7.

На рис. 7 представлены кривые влагопоглощения древесины, подвергнутой вакуумной пропитке в различных импрегнирующих растворах. Видно, что в результате реализации данного процесса равновесное набухание древесины не превышало 10–20 % для использованных импрегнирующих систем в присутствии и отсутствии наночастиц. В то время как для необработанной древесины величина W составляла 26–38 %.

В результате проведенных исследований было установлено, что наименьшее изменение размеров, как в радиальном, так и в тангенциальном направлении, наблюдалось у образцов, пропитанных препаратом Z-6011, что примерно на 30–50 %

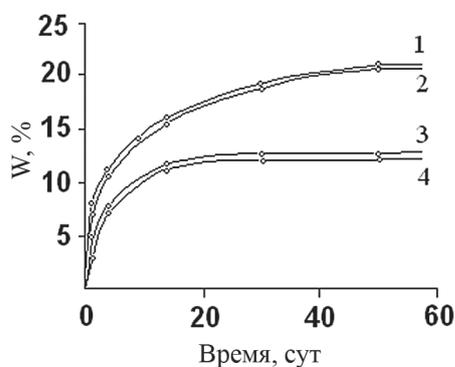


Рис. 7. Изменение степени влагопоглощения (W) пропитанных образцов тополя во времени: 1 – 10 % водный раствор мочевины, 2 – 10 % водный раствор мочевины с 0,5 % суспензией Ag-наночастиц, 3 – 5 % раствор гамма-аминопропилтри-этоксисилана (марки Z6011) в воде, 4 – 5 % раствор Z6011 с 0,5 % суспензией Ag-наночастиц

Fig. 7. Changing the degree of water absorption (W) Time poplar impregnated samples 1 – 10% aqueous urea solution, 2 – 10% aqueous urea solution with 0.5% Ag-nanoparticle suspension, 3 – 5% solution of gamma-ethoxysilane aminopropiltri (brand Z6011) in water and 4 – 5% solution with 0.5% Z6011 Ag-nanoparticle suspension

лучше, чем у образцов из необработанной древесины.

Исследования показали, что кремнийорганические соединения, содержащие активные гидроксильные и аминогруппы, являются перспективным классом соединений для модифицирования древесины мягких лиственных пород, а использование вакуумирующего импрегнирования под давлением позволяет осуществлять глубинную пропитку древесных материалов.

Применение в составе пропиточных растворов наночастиц серебра позволяло визуально наблюдать глубину пропитки образцов, поскольку наночастицы серебра окрашивали пропитанный слой древесины в черный цвет.

Таким образом, проведенные испытания показали перспективность использования систем с включенными органосилоксанами для пропитки древесины малоценных пород.

Известно, что процессы, связанные с термообработкой древесины, приводят к значительному снижению ее физико-механических свойств. Образцы древесины березы, пропитанные кремнийорганическими соединениями, которые подвергались сушке при температурах выше 100 °С, тем не менее, сохраняли эти показатели на уровне величин, характерных для натуральной древесины. Испытания образцов древесины березы на прочность при статическом изгибе, ударной вязкости и статической твердости, показали, что образцы, пропитанные КОС, сохраняют физико-механические свойства древесины, в отличие от термомодифицированной древесины, подвергавшейся нагреву в защитной атмосфере при температуре порядка 200 °С [10].

Возможность модификации древесины мягких лиственных пород в результате пропитки с последующей сушкой делает эти «малоценные породы» конкурентоспособными и пригодными к использованию в качестве деловой древесины.

Библиографический список

1. Расев, А.И. Сушка древесины / А.И. Расев. – СПб.: Лань, 2010. – 416 с.

2. Неклюдов, А.Д. Консервация древесины – один из методов сохранения лесных богатств страны / А.Д. Неклюдов, А.Н. Иванкин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2005. – № 2 (27). – С. 77 – 89.
3. Kjellow A.W., Henriksen O. Supercritical wood impregnation. The Journal of Supercritical Fluids, vol. 50, no. 3, 2009, pp. 297–304.
4. Keskin H. Impact of impregnation chemical on the bending strength of solid and laminated wood materials. Materials & Design, vol. 30, no. 3, 2009, pp. 796–803.
5. Pecha B., Arauzo P., Garcia-Perez M. Impact of combined acid washing and acid impregnation on the pyrolysis of fir wood. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. – 2015. – № 5. – P. 10–15.
6. Неклюдов, А.Д. Консервация древесины как способ сохранения лесных ресурсов страны / А.Д. Неклюдов, А.Н. Иванкин // Экологические системы и приборы. – 2005. – № 5. – С. 3–11.
7. Badillo G.M., Segura L.A., Laurindo J.B. Theoretical and experimental aspects of vacuum impregnation of porous media using transparent etched networks. International Journal of Multiphase Flow. – 2011. – V. 37. – № 9. – P. 1219–1226.
8. Xia C., Shi S.Q., Cai L., Nasrazadani S. Increasing inorganic nanoparticle impregnation efficiency by external pressure for natural fibers. Industrial Crops and Products. – 2015. – V. 69. № 7. – P. 395–399.
9. Шамаев, В.А. Химико-механическое модифицирование древесины / В.А. Шамаев. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2003. – 260 с.
10. Владимирова, Е.Г. Влияние термической модификации на некоторые физико-механические свойства древесины сосны *Pinus sylvestris*. / Е.Г. Владимирова // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – Т. 16. – № 5 (88). – С. 97–102.
11. Покровская, Е.Н. Химико-физические основы увеличения долговечности древесины. Сохранение памятников деревянного зодчества с помощью элементоорганических соединений / Е.Н. Покровская. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 100 с.
12. Расев, А.И. Исследование гидрофобности и формоустойчивости древесины березы, пропитанной органосиликатами / А.И. Расев, А.Н. Иванкин, О.П. Прошина и др. // Технология и оборудование для переработки древесины // Науч. тр. – Вып. 349. – М.: МГУЛ, 2010. – С. 22–30.
13. Прошина, О.П. Влияние пропитки органосилоксанами на гидрофобность и формоустойчивость древесины березы / О.П. Прошина, А.Н. Иванкин, Е.А. Капустина А.И. Расев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – Т. 17. – № 2. – С. 83–87.
14. Rzaev, Z.M.O. Reactions of some anhydride-containing copolymers with γ -aminopropyltriethoxysilane / Z.M.O Rzaev, A Gьner, H.K Can, A Asici // Polymer. – 2001. – V. 42. – № 13. – P. 5599 – 5606.
15. Liu, J.G. Electrochemical characteristics of corrosion behavior of organic composite systems pretreated with gamma-aminopropyltriethoxysilane / J.G. Liu, C.W. Yan / Surface and Coatings Technology. – 2006. – V. 200. – № 16–17. – P. 4976 – 4986.
16. Roche, V. Tracking the fate of γ -aminopropyltriethoxysilane from the sol state to the dried film state / V. Roche, F.X. Perrin, D. Gignes, F. Vacandio, F. Ziarelli, D. Bertin // Thin Solid Films. – 2010. – V. 518. – P. 3640 – 3645.
17. ГОСТ 16483.3–84. Древесина. Метод определения предела прочности при статическом изгибе. – М.: Изд. стандартов, 1980. – 7с.
18. ГОСТ 28840-90. Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования. – М.: Изд. стандартов, 1980. – 8 с.
19. ГОСТ 166-89. Штангенциркули. Технические условия. – М.: Изд. стандартов, 1980. – 12 с.
20. Иванкин, А.Н. Получение нанодисперсных частиц серебра для модификации свойств древесных композитов / А.Н. Иванкин, Ю.М. Евдокимов, Г.Л. Олиференко, О.П. Прошина // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2014. – № 4. – С. 145–149.
21. Серов, А.В. Антимикробный препарат на основе наносеребра / А.В. Серов, В.И. Шипулин, И.М. Шевченко // Мясная индустрия. – 2010. – № 2. – С. 29–32.
22. ГОСТ 20571-75. Древесина модифицированная. Метод определения ударной вязкости. – М.: Изд. стандартов, 1975. – 10 с.
23. ГОСТ 28840-90. Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования. – М.: Изд. стандартов, 1990. – 8 с.

FORMATION OF IMPREGNATION SYSTEMS WITH NANO PARTICLES TO MODIFICATION OF THE PROPERTIES OF WOOD

Proshina O.P., Assoc. Prof. MSFU, Ph.D. (Chemistry)⁽¹⁾; **Fahretdinov H.A.**, Assoc. Prof. MSFU Ph.D. (Forestry)⁽¹⁾; **Ivankin A.N.**, Prof. MSFU, Dr. Sci. (Chemistry)⁽¹⁾; **Kapustina E.A.**, pg. MSFU⁽¹⁾

aivankin@mgul.ac.ru

⁽¹⁾Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischki, Moscow reg., Russia

The present work is devoted to the research of influence of impregnation with various organic silicon compositions and organic modifiers on the characteristics of wood of deciduous species. With this purpose general physical and mechanical characteristics of wood of the birch impregnated with solutions of carbamide have been studied, to compare them to the wood impregnated with solutions of organic silicon at presence and absence of metal nano particles. Theoretical and practical approaches to the issue of hydrophobicity and modification of physical and mechanical characteristics have been formulated, particularly the issue of wood durability at the static bend, resilience, static hardness, and also the issue of balanced swelling in various impregnating systems and the issue of water absorption by modified birch wood. The following impregnating solutions have been used: 10 % water solution of urea, 10 % water solution of urea and 0,5 % suspension of Ag-nano particles, 5 % solution of gamma aminopropyl triethoxysilane of mark Z6011 in water, 5 % solution Z6011 with 0,5 % suspension of Ag-nano particles. It has been demonstrated, that the impregnation of birch wood with 5 % solution of carbamide allowed to achieve maximal values of loading for the samples: 2400-3600 N, 2300-3500 N in the system with gamma aminopropyl

triethoxysilane against 1800-3300 N for non-impregnated wood. The value of maximal loading during the static bend for impregnating systems was practically the same as in case of samples without impregnation and thermal processing. The values of destruction of tested products were 12-46 J. The average values of static hardness of wood surface have been calculated and have been 28-57 N/mm². Test results have not revealed any significant influence of used nano particles of silver on the strength of wood samples. However the use of nano particles has allowed to control the process of impregnation visually.

Keywords: organic siloxanes, birch wood, nano particles Ag, impregnation

References

1. Rasev A.I. *Sushka drevesini* [Wood drying]. St. Petersburg: Lani, 2010. 416 p.
2. Neklyudov A.D., Ivankin A.N. *Konsevatsia drevesini – odin is metodov sohraneniya lesnih bogatstv strani* [Wood preservation for maintaining of forest wealth-country]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik vol. 48, no.2, 2005, pp. 77-89.
3. Kjellow A.W., Henriksen O. Supercritical wood impregnation. The Journal of Supercritical Fluids, vol. 50, no. 3, 2009, pp. 297-304.
4. Keskin H. Impact of impregnation chemical on the bending strength of solid and laminated wood materials. Materials & Design, vol. 30, no. 3, 2009, pp. 796-803.
5. Pecha B., Arauzo P., Garcia-Perez M. Impact of combined acid washing and acid impregnation on the pyrolysis of fir wood. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, no. 5, 2015, pp.10–15.
6. Neklyudov A.D., Ivankin A.N. *Konsevatsia drevesini kak sposob sohraneniya lesnih resursov strani* [Wood preservation as a way to preserve the forest resources]. Environmental systems and devices (Russia), no. 5, 2005, pp. 3–11.
7. Badillo G.M., Segura L.A., Laurindo J.B. Theoretical and experimental aspects of vacuum impregnation of porous media using transparent etched networks. International Journal of Multiphase Flow, vol. 37, no. 9, 2011, pp. 1219-1226.
8. Xia C., Shi S.Q., Cai L., Nasrazadani S. Increasing inorganic nanoparticle impregnation efficiency by external pressure for natural fibers. Industrial Crops and Products, vol. 69, no. 7, 2015, pp. 395-399.
9. Shamaev V.A. *Himiko-mehanicheskaya modifikatsia drevesini* [Chemical-mechanical modification of wood]. Voronezh: Voronezh Lesotekhnicheskaya Akademiya, 2003. 260 p. (in Russian).
10. Vladimirova E.G. *Vliyanie termicheskoi modifikatsii na nekotorie fiziko-mehanicheskie svoystva sosni Pinus sylvestris* [Influence of thermal modification on some physical and mechanical properties of the wood of a pine *Pinus sylvestris*]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik vol. 16, no. 5, 2012, pp. 97-102.
11. Pokrovskaya E.N. *Himiko-fizicheskie osnovy uvelichenia dolgovechnosti drevesini* [Chemical physical basis of durable wood-related increases. The preservation of the monuments of wooden architecture by using element-organic compounds. Moscow: ACU, 2003, 100 p.
12. Rasev A.I. Ivankin A.N., Proshina O.P., Kapustina E.A. *Issledovaniya gidrofobnosti i formoustoichivosty drevesini berezi, propitannoi organosiloksanami* [Study the hydrophobicity and form sustainability of birch wood, soaked in the organometallic silicates]. Technology and equipment for processing wood. Proceedings. Moscow: MGUL, 2010. V. 349. pp. 22-30.
13. Proshina O.P., Ivankin A.N., Kapustina E.A., Rasev A.I. *Vliyanie propitki organosiloksanami na gidrofobnost* [Influence of impregnation organo siloxans on hydrophobicity and shape stability of birch wood]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, vol. 17, no.2, 2013, pp. 83 – 87.
14. Rzaev Z.M.O, Гьнер А., Can H.K., Asici A. Reactions of some anhydride-containing copolymers with γ -aminopropyltriethoxysilane. Polymer, vol. 42, no 13, 2001, pp. 5599-5606.
15. Liu J.G., Yan C.W. Electrochemical characteristics of corrosion behavior of organic composite systems pretreated with gamma-aminopropyltriethoxysilane. Surface and Coatings Technology, vol. 200, no. 16–17, 2006, pp. 4976-4986.
16. Roche V., Perrin F.X., Gignes D., Vacandio F., Ziarelli F., Bertin D. Tracking the fate of γ -aminopropyltriethoxysilane from the sol state to the dried film state. Thin Solid Films, vol. 518, no. 14, 2010, pp. 3640-3645.
17. GOST 16483.3-84. Wood. Method for the determination of the tensile strength of the static bending strength. Moscow: Standards Publ., 1980. 7 p.
18. GOST 28840-90. Material testing machines for tensile, compression and bending. General technical requirements. Moscow: Standards Publ., 1980. 8 p.
19. GOST 166-89. Calipers. Technical conditions. Moscow: Standards Publ., 1980. 12 p.
20. Ivankin A.N., Evdokimov Yu.M., Oliferenko G.L., Proshina O.P. *Poluchenie nanodispersnykh chastits serebra dlya modifikatsii svoystv drevesnykh kompozitov* [The obtain of nano disperse particles of silver for modifying the properties of wood-based composites]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, no.4, 2014, pp. 145-149.
21. Serov A.V., Shipulin V.I., Shevchenko I.M. *Antimikrobnii preparat na osnove nano Ag* [Antimicrobial drug based on nano silver]. Meat Industry (Russia), no. 2, 2010, pp. 29-32 .
22. GOST 20571-75. Modified wood. Method for determination of impact strength. Moscow: Standards Publ, 1975. 10 c.
23. GOST 28840-90. Material testing machines for tensile, compression and bending. General technical requirements. Moscow: Standards Publ, 1990. 8 c.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛЕСООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРОЦЕССА ПРИ ГИБКОЙ КОМПОНОВКЕ СТАНКОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПОТОКЕ

А.А. ШАДРИН, *проф. МГУЛ, д-р техн. наук*⁽¹⁾,
А.С. ВАСИЛЬЕВ *доц. ПетрГУ, канд. тех. наук*⁽²⁾,
Н.Н. КОСТЮКЕВИЧ, *инж. МГУЛ*⁽¹⁾,
С.А. КАТКОВ, *асп. МГУЛ*⁽¹⁾

shadrin@mgul.ac.ru, alvas@mail.petrso.ru, k_mikola@mail.ru, katkovsa@ya.ru

⁽¹⁾ФГБОУ ВО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1

⁽²⁾ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», 185910, Россия, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33.

Гибкие лесобработывающие процессы цехов в условиях лесозаготовительного предприятия должны учитывать природно-производственные условия функционирования лесозаготовительного производства, которые характеризуются таксационными показателями эксплуатируемых лесонасаждений, объемами лесозаготовок, выходом отдельных видов сортиментов на нижнем лесопромышленном складе, применяемыми системами машин и рядом других факторов. Для формализации описания гибкого лесобработывающего процесса (ГЛП) его представляют в виде системы, функционирующей как некое множество агрегатов, подчиненных решению общей задачи. При передаче пачек заготовок между станками или группой станков появляется возможность организации производственного процесса по схеме «склад заготовок–станок–склад заготовок», что при обработке лесоматериалов различного назначения обеспечивает непрерывное управление ходом производства и оперативное изменение маршрута обработки заготовок в цехе в зависимости от изменения состава обрабатываемого древесного сырья. Применительно к лесобработывающим цехам заслуживают внимания подвесные и напольные транспортные средства, имеющие возможность доставлять груз в любую точку площади цеха. Применение мостового крана позволяет размещать станки в любой последовательности и обеспечивает их независимую работу друг от друга и наиболее рациональное использование производственных площадей. В цехах могут также эффективно использоваться автопогрузчики для транспортировки пачек лесоматериалов при наличии достаточных площадей для обустройства проездов. Приводится укрупненная блок-схема имитационной модели лесобработывающего цеха. Разработанная имитационная модель пригодна для исследования гибких лесобработывающих процессов цехов с различным составом применяемого оборудования, параметрами обрабатываемых лесоматериалов и параметрами перемещаемых пачек лесоматериалов.

Ключевые слова: гибкие лесобработывающие процессы, имитационная модель.

Гибкие лесобработывающие процессы цехов в условиях лесопромышленного предприятия должны учитывать природно-производственные условия функционирования лесозаготовительного производства, которые характеризуются таксационными показателями эксплуатируемых лесонасаждений, объемами лесозаготовок, выходом отдельных видов сортиментов на нижнем лесопромышленном складе, применяемыми системами машин и рядом других факторов.

Кроме того, организация гибкого лесобработывающего производства в настоящее время в значительной степени зависит от спроса на рынке лесопродукции.

Исследованиями [1, 3] установлено, что лесозаготовительному производству в целом и лесобработывающему производству

в частности свойственны систематические и случайные причины неравномерности.

Сгладить отрицательное влияние этих неравномерностей на загрузку технологических линий лесобработывающих цехов в условиях лесозаготовительных предприятий можно путем создания цехов с гибким производственным процессом, в которых можно обрабатывать различные виды древесного сырья, в общих потоках на различную лесопродукцию.

Для формализации описания и последующего моделирования гибкого лесобработывающего процесса (ГЛП) его представляют в виде системы, функционирующей как некое множество агрегатов, подчиненных решению общей задачи. При формализации ГЛП необходимо предварительное изучение структуры составляющих его агрегатов, ре-

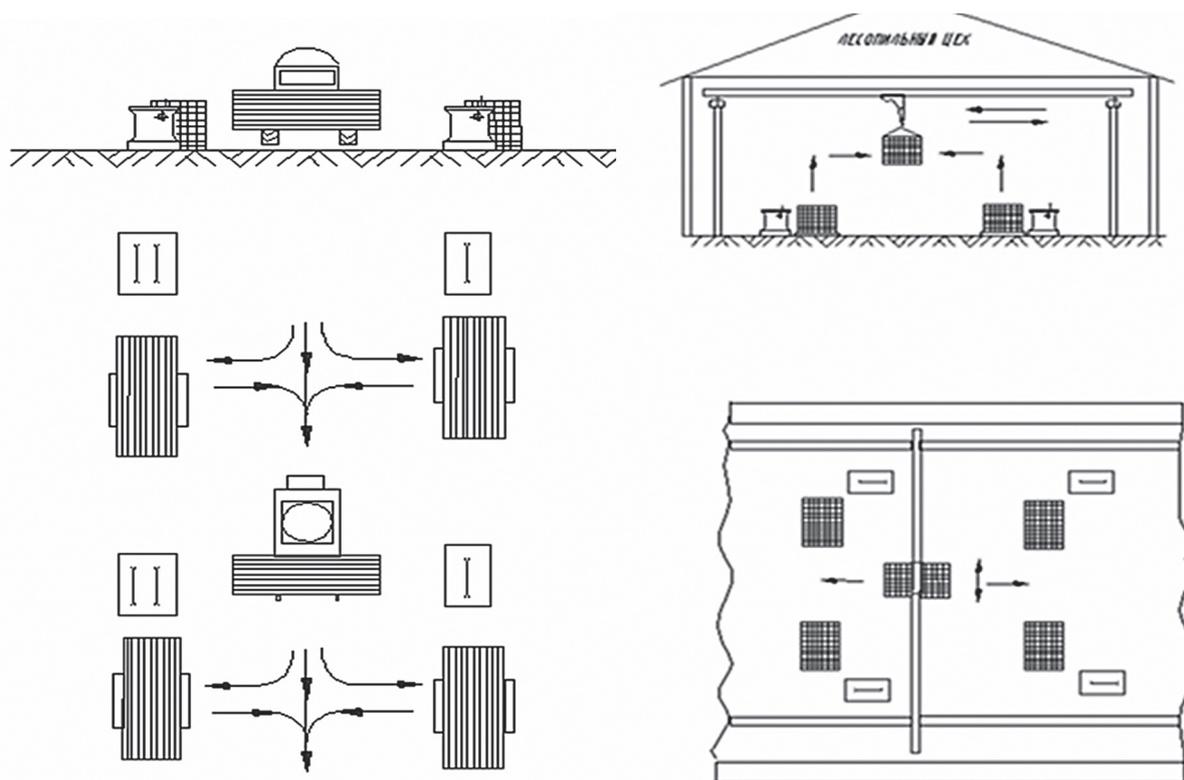


Рис. 1. Схема транспортировки пачек в цехе при помощи автопогрузчика и кран-балки
 Fig. 1. Scheme of the transport packets in the shop with the help of a forklift and crane

зультатом чего является описание процесса, позволяющее определить количественные характеристики агрегатов, степень и характер взаимодействия между ними, место и значение каждого агрегата в лесообрабатывающем процессе [4]. При этом необходимо выделить рассматриваемый ГЛП как элемент некоторой системы, чтобы исследовать функционирование ГЛП как целого, выделить в ГЛП составляющие его элементы и формально их описать, изучить взаимодействие элементов ГЛП.

При всем разнообразии ГЛП в них можно выявить общие структурные признаки [4]:

- любой ГЛП состоит из конечного множества технологических машин, которые представляют структурные элементы системы;
- ГЛП включает конечное множество структурных связей между агрегатами и внешними системами. Эти структурные связи обеспечивают функционирование ГЛП;
- каждый агрегат имеет вход и выход, служащие соответственно для приема и вы-

дачи заготовок. Моменты поступления заготовок на агрегат является случайной величиной;

- агрегаты ГЛП функционируют не изолированно друг от друга, а во взаимодействии, при котором свойства одного агрегата зависят от других;
- все технологические операции являются конечными по времени, а продолжительности технологических операций на различных станках являются случайными величинами;
- маршруты обработки заготовок есть множество возможных маршрутов.

Таким образом, структура ГЛП рассматривается как определенный закон взаимосвязи агрегатов и отражает детальное описание связей между системными компонентами.

Технологические потоки по обработке древесного сырья в цехах с ГЛП могут быть сформированы в технологические линии с поштучной передачей заготовок от станка к станку в процессе обработки или по принципу передачи пачек заготовок между станками или

группой станков. В последних случаях появляется возможность организации производственного процесса по схеме «склад–станок–склад», что при обработке лесоматериалов различного назначения обеспечивает непрерывное управление ходом производства. При этом можно оперативно менять маршрут обработки заготовок в цехе в зависимости от изменения состава обрабатываемого древесного сырья.

Применительно к лесообрабатывающим цехам заслуживают внимания подвесные и напольные транспортные средства [5], имеющие возможность доставлять груз в любую точку площади цеха. Такому условию отвечает, например, мостовой кран, снабженный автоматизированным захватным устройством. Это позволит размещать станки в любой последовательности, обеспечит их практически независимую работу друг от друга и наиболее рациональное использование производственных площадей. В цехах могут также эффективно использоваться автопогрузчики для транспортировки пачек лесоматериалов при наличии достаточных площадей для обустройства проездов (рис. 1).

Структура лесообрабатывающих потоков в цехах с гибким технологическим процессом на нижних лесопромышленных складах, как правило, является сложной, разветвленной. Кроме того, реальные потоки лесоматериалов в таких цехах не являются простейшими, что обуславливает необходимость учитывать стохастичность поступления сырья в цех и стохастичность его обработки в цехе. Поэтому исследование гибких технологических процессов лесообрабатывающих цехов проводится методом статистического моделирования [6]. Имитационное моделирование производственной системы проводят в случаях, когда применение традиционных аналитических методов из-за сложности анализируемой системы невозможно вообще или же модели не удовлетворяют требуемой точности. Такие сложные системы, как правило, характеризуются нелинейностью и разнообразием связей между параметрами, стохастичностью выполнения операций, изменением состояния системы во времени, ограничениями разных типов [3].

Необходимость применения имитационного моделирования в исследовании гибких лесообрабатывающих процессов цехов лесозаготовительных предприятий диктуется также следующими положениями [2, 3]:

– Особенность цехов с гибкими лесообрабатывающими процессами заключается в возможности обрабатывать в них различные по назначению сортименты, а, следовательно, и по размерно-качественным характеристикам пачек сортиментов, которые подаются в цех случайным образом и через случайные промежутки времени.

– Распределение интервалов поступления пачек сортиментов в цех, как правило, отличается от показательного закона, характерного для простейших потоков. Время обработки лесоматериалов на станках в лесообрабатывающих цехах также не соответствует показательному закону. Указанные обстоятельства обуславливают сложность описания таких потоков аналитическими методами.

– Моделирование гибких лесообрабатывающих процессов цехов с сохранением логических взаимосвязей между выполняемыми операциями во времени дает возможность исследовать рассматриваемые процессы в различных условиях.

Процесс имитационного моделирования заключается в многократном воспроизведении операций моделируемой системы случайных элементов («датчиков» случайных величин) с последующей обработкой полученных статистических результатов. Последнее дает возможность оценить искомые показатели системы (вероятности, математические ожидания) как статистические характеристики по данным большого количества реализаций [7].

Имитационная модель гибкого лесообрабатывающего процесса обеспечивает достаточную точность получаемого результата, сохранение сложных взаимосвязей между выполняемыми операциями и предназначена для определения эксплуатационных параметров функционирования исследуемого гибкого лесообрабатывающего процесса: коэффициентов загрузки станков, их производительностей, объемов выхода готовой продукции и отходов и т. д. [1, 2].

Имитационная модель включает моделирование текущего времени, потока пачек сырья, маршрута обработки заготовок, случайного времени цикла, объема и состава обрабатываемого сырья, объема и вида готовой продукции и отходов, выхода из строя и восстановления станков, числа реализации.

В разработанной имитационной модели используется метод моделирования текущего времени по особым состояниям. Под особым состоянием понимается момент времени начала или окончания какого-либо процесса в имитационной модели (момент начала или окончания цикла работы станка, момент времени отказа или восстановления единицы технологического оборудования и т. п.) или момент наступления какого-либо события (момент поступления заготовки в буферное устройство, на станок и т. д.). Такой метод моделирования обеспечивает более высокую точность результатов модели и сокращает

время ее реализации по сравнению с моделированием времени с детерминированным шагом Δt . Алгоритм моделирования времени по особым состояниям следующий [1]:

- в соответствии со структурой модели и входными параметрами формируются начальные особые состояния звеньев модели;
- осуществляется поиск ближайшего по времени наступления особого состояния T_{\min} ;
- осуществляется анализ особого состояния, накопление статистики, формирование следующих особых состояний звеньев модели;
- контроль текущего времени до момента $T_{\min} > T_M$ (где: T_{\min} – текущее время ближайшего особого состояния; T_M – время моделирования);
- при наступлении события $T_{\min} > T_M$ осуществляется обработка накопленного в результате моделирования статистического материала и вывод на печать результатов работы имитационной модели. Схема моделирования по особым состояниям показана на рис. 2.

Для моделирования значений случайных величин временных интервалов и параметров сырья приняты их распределения вероятностей, которые были получены в результате проведенных экспериментов на ряде лесопромышленных предприятий Центрального региона России, а также в Республике Марий-Эл.

За статистическую модель размерных параметров сырья (диаметров сортиментов) принято логнормальное распределение, плотность которого имеет вид

$$P(dx) = \frac{1}{\sigma_z \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}u^2},$$

где $u = \frac{\ln dx - \mu}{\sigma_z}, \pi = 3,141$

μ – математическое ожидание случайной величины $z = \ln dx$;

σ_z – среднее квадратическое отклонение случайной величины $z = \ln dx$;

e – основание натуральных логарифмов, $e = 2,718$.

Интенсивность поступления лесоматериалов к станкам на обработку задается функцией плотности распределения Эрланга с параметром k

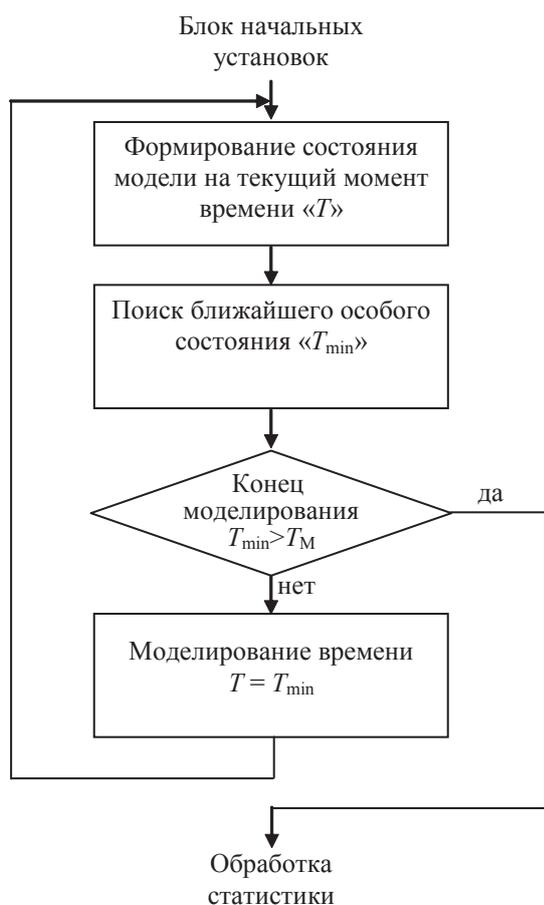


Рис. 2. Схема моделирования времени по особым состояниям

Fig. 2. Scheme of simulation time on special conditions

$$f(t) = \frac{(k\lambda)^k \cdot t^{k-1}}{(k-1)!} \cdot e^{-k\lambda t},$$

где k – порядок распределения Эрланга;
 λ – интенсивность поступления заготовок к станкам;
 t – интервал времени.

Учет параметров надежности станка организуется как некий поток заявок на ремонт и обслуживание этих заявок. Блок-схема моделирования ремонта единицы оборудования представлена на рис. 3.

При этом моделируются случайные по величине интервалы времени восстановления t_B и безотказной работы станков t_p , которые задаются функцией плотности экспоненциального распределения

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t},$$

где λ – интенсивность простейшего потока,
 t – интервал времени (t_B, t_p).

Момент времени восстановления станка (ТВ) определяется соотношением

$$ТВ = ТП + t_B,$$

где ТП – текущее время поломки станка.

Через интервал времени t_p произойдет следующая поломка станка (ТСП)

$$ТСП = ТВ + t_p,$$

При моделировании поток заявок на ремонт станков имеет приоритет перед потоком заявок на обработку заготовок этими станками.

Блок-схема формирования длительности цикла обработки заготовок на станках лесоперерабатывающего цеха представлена на рис. 4.

Согласно схеме при поступлении сырья происходит распознавание моделируемого станка в момент анализируемого особого состояния. Длительности обработки заготовок на станках лесоперерабатывающего цеха являются случайными величинами и формируются посредством псевдослучайных чисел, которые представляются детерминантой для каждого единичного события

$$t_{ц} = f(c),$$

где $t_{ц}$ – длительность цикла обработки заготовки на станке;

c – случайная величина.

Состав сырья, поступающего в цех на обработку, задается в процентном отношении

по каждому виду сортиментов с последующим вычислением коэффициента комбинирования. В модели предусмотрено варьирование

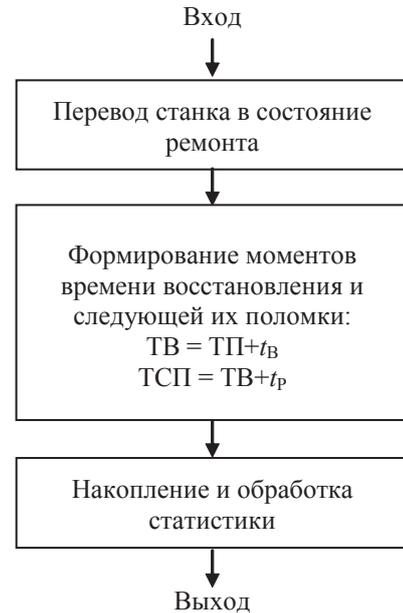


Рис. 3. Блок-схема моделирования ремонта станков
 Fig. 3. Block diagram modeling machine repair

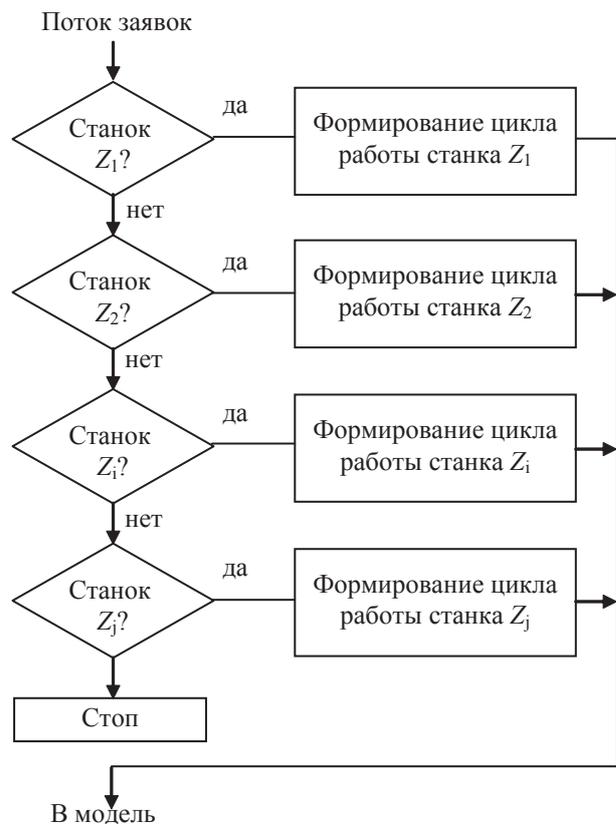


Рис. 4. Блок-схема моделирования длительности цикла обработки заготовок на станках

Fig. 4. Block diagram of simulation processing cycle time for machining workpieces

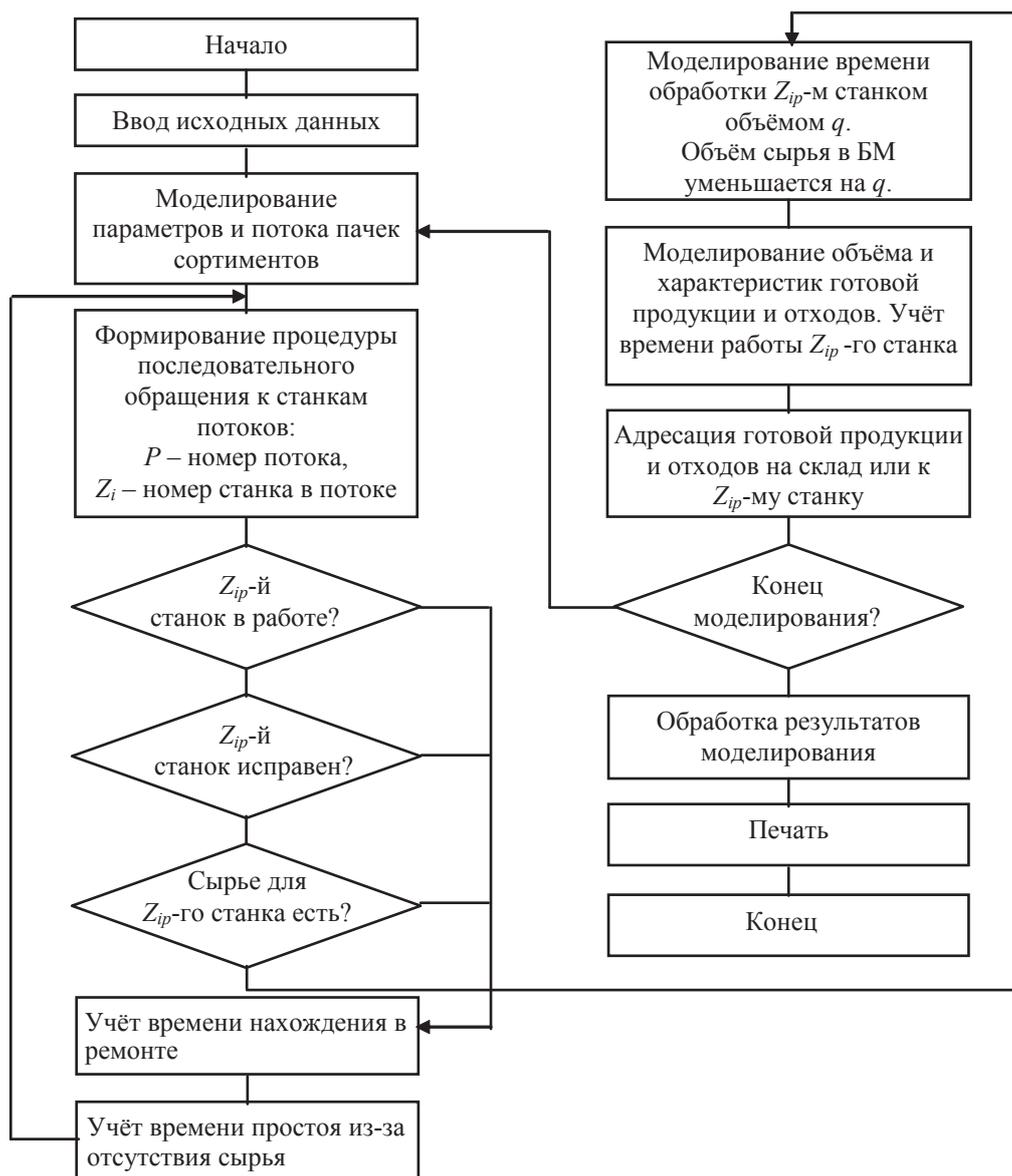


Рис. 5. Укрупненная блок-схема имитационной модели лесоперерабатывающего цеха
 Fig. 5. The integrated block diagram of a simulation model of forest processing plant

состава обрабатываемого сырья; его размерно-качественных параметров, количества станков по фазам обработки заготовок, вместимостей буферных устройств перед станками, параметров надежности применяемого оборудования. Возможны также различные варианты управления потоками лесоматериалов в процессе их обработки.

Укрупненная блок-схема имитационной модели гибкого лесоперерабатывающего производства представлена на рис. 5.

Разработанная имитационная модель пригодна для исследования гибких лесоперерабатывающих процессов цехов с различным

составом применяемого оборудования, параметрами обрабатываемых лесоматериалов и параметрами перемещаемых пачек лесоматериалов.

Библиографический список

1. Шадрин, А.А. Комбинированные лесоперерабатывающие цехи лесозаготовительных предприятий: монография / А.А. Шадрин. – М.: МГУЛ. 2006. – 100 с.
2. Шадрин, А.А. Гибкие лесоперерабатывающие процессы лесозаготовительных предприятий / А.А. Шадрин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2009. – № 2(65). – С. 108–111.
3. Редькин, А.К. Основы моделирования и оптимизации процессов лесозаготовок: учебник для вузов / А.К. Редькин. – М.: Лесная пром-сть, 1988. – 256 с.

4. Медведев, А.В. Технологические основы гибких производственных систем / В.А. Медведев. – М.: Высшая школа, 2000. – 255 с.
5. Лозовецкий, В.В. Транспортное обслуживание станков в лесообрабатывающих цехах / В.В. Лозовецкий, А.А. Шадрин, Н.Н. Костюкевич и др. – Наука, техника, управление/ВИНИТИ РАН. – 2013. – № 10. – С. 7–10.
6. Нейлор, Т. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем / Т. Нейлор. – М.: Мир, 1975. – 500 с.
7. Гоберман, В.А. Технология научных исследований – методы, модели, оценки: учебное пособие. 2-е изд. Стерiotипное / В.А. Гоберман, Л.А. Гоберман. – М.: МГУЛ, 2002. – 390 с.

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS OF THE FOREST PROCESSING PROCESS IN A FLEXIBLE ARRANGEMENT OF THE MACHINE IN THE PROCESS STREAM

Shadrin A.A., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾; **Vasilev A.S.**, Assoc. Prof. PetrSU, Ph.D. (Tech.)⁽²⁾; **Kostyukevich N.N.**, MSFU⁽¹⁾; **Katkov, S.A.**, pg. MSFU⁽¹⁾

shadrin@mgul.ac.ru, alvas@mail.petrSU.ru, k_mikola@mail.ru, katkovsa@ya.ru

⁽¹⁾Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischki, Moscow reg., Russia

⁽²⁾Petrozavodsk State University, 33, Lenin Av., 185910, Petrozavodsk, Russia

Flexible timber processes of the workshops in terms of logging companies should consider natural and production conditions for the functioning of timber production, which are characterized by biophysical indicators of exploited forests, the logging volumes, the release of certain types of assortments on the bottom of the timber stock, the applicable systems of machines and a number of other factors. To formalize descriptions of flexible timber process (GLP) it is represented in the form of a system, functioning as a kind of group of units subordinate to the overall task. When transferring bundles of workpieces between the machines or group of machines allows the production process in a «warehouse blanks – machine – warehouse blanks» in the processing of timber for various purposes provides continuous control of the production process and operational changes in the route of machining in the shop depending on changes in the composition of the treated wood. In relation to timber workshops noteworthy overhead and floor of the vehicle having the ability to deliver goods anywhere in the area of the shop. The use of bridge crane allows you to place the machines in any order and ensures that they operate independently from each other and most rational use of production space. The workshops can also be effectively used forklifts for transporting packs of timber if there is sufficient space for the installation of driveways. Is enlarged block diagram of the simulation model wood-working shop. Developed a simulation model suitable for studying flexible timber processes workshops with different composition of equipment used, the parameters of processed timber and parameters of the roaming packs of timber.

Keywords: flexible timber processes, simulation model.

References

1. Shadrin A.A. *Kombinirovannye lesobrabatyvayushhie cehi lesozagotovitel'nyh predpriyatij* [Combined wood-working shops logging companies]. Moscow: MSFU, 2006. 100 p.
2. Shadrin A.A. *Gibkie lesobrabatyvayushhie processy lesozagotovitel'nyh predpriyatij* [Flexible wood-working processes of logging companies]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik. 2009. № 2(65). pp. 108-111.
3. Red'kin A.K. *Osnovy modelirovaniya i optimizacii processov lesozagotovok* [Fundamentals of modeling and optimization of harvesting]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1988. 256 p.
4. Medvedev A.V. *Tehnologicheskie osnovy gibkih proizvodstvennyh sistem* [Technological bases of flexible manufacturing systems]. Moscow: Vysshaya shkola, 2000. 255 p.
5. Lozovetskiy V.V., Krymasov V.N. *Gidromekhanicheskie i teplovye protsessy v yadernykh reaktorakh s mikrotvel'nym toplivom* [Hydro-mechanical and thermal processes in nuclear reactors microvellum fuel]. Moscow: VINITI RAN. 2003. 326 p.
6. Neylor T. *Mashinnye imitacionnye eksperimenty s modelyami ekonomicheskikh sistem* [Machine simulation experiments with models of economic systems]. Moscow: Mir, 1975. 500 p.
7. Goberman V.A., Goberman L.A. *Tehnologiya nauchnyh issledovaniy – metody, modeli, ocenki* [Technology research – methods, models, estimation]. Moscow: MSFU, 2002. 390 p.

УДК 630.383

ПРОХОДИМОСТЬ КОМПЛЕКСНЫХ ТРЕЛЕВОЧНО-ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ НА ТРЕЛЕВОЧНЫХ ВОЛОКАХ

А.В. СКРЫПНИКОВ, *проф. ВГУИТ, д-р техн. наук*⁽¹⁾,
 В.Г. КОЗЛОВ, *доц. Воронежского ГАУ, канд. техн. наук*⁽²⁾,
 Е.В. КОНДРАШОВА, *проф. Воронежского ГАУ, д-р техн. наук*⁽²⁾,
 А.Ю. АРУТЮНЯН, *асп. УГТУ*⁽³⁾

skrypnikovvsafe@mail.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»,
 394016, г. Воронеж, проспект Революции, 19

⁽²⁾ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»,
 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, д. 1

⁽³⁾ ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», 169400, Республика Коми, г. Ухта, ул.
 Первомайская, д. 13

Цель исследования – получить зависимости, характеризующие влияние физико-механических свойств грунта и его состояния (влажности) на величину сцепления ведущих колес машин с ездовой поверхностью и позволяющие установить оптимальные значения среднего удельного давления колеса трелевочно-транспортной системы, диаметра колеса и, следовательно, величины pD , характеризующей воздействие системы на ездovou поверхность, а также минимальный радиус проходимости и другие характеристики. Объект исследования – лесотранспортный процесс. При оценке проходимости машины рассмотрена система машина–грунтовая поверхность. Описаны ограничения проходимости комплексных трелевочно-транспортных систем. Рассчитано оптимальное значение удельного давления на ездovou поверхность, позволяющее определить основные параметры комплексных трелевочно-транспортных систем, при которых можно получить наибольшую величину удельной свободной силы тяги на каждый квадратный сантиметр опорной поверхности. Определено добавочное протяжение на единицу пути, необходимое для обхода препятствий в виде крупных пней высотой, превышающей дорожный просвет, валунов. Установлено, что пригодность трелевочных волоков для движения лесовозных автопоездов, как с грузом, так и без груза, с неэксплуатационными скоростями зависит, в основном, от наличия на ездовой поверхности неровностей различного вида, в том числе пороговых, то есть с отвесными или близкими к этому стенками, расположенными выше уровня ездовой поверхности; колеи и рытвин, образовавшихся при движении колесных машин; рода грунта на поверхности волока и его влажности. Установлено, что металлические свойства грунтов, слагающих ездovou поверхность, определяются зерновым составом почв и грунтов, их влажностью и плотностью, а также наличием или отсутствием дернового покрова. Рассчитана величина средневзвешенного удельного сопротивления движению комплексных трелевочно-транспортных систем с грузом, с учетом влияния пороговых неровностей.

Ключевые слова: трелевочный волок, колесная машина, опорная поверхность, сопротивление движению, грунтовая поверхность.

Проходимость комплексных трелевочно-транспортных систем (КТТС) ограничивается [1, 2] особенностями конструкции ходовой части, величиной массы и ее распределением на опорные части, путевыми условиями или, при работе без дорог, особенностями местности и другими природными факторами. В первую очередь

- 1) почвенно-грунтовыми условиями;
- 2) рельефом местности;
- 3) наличием естественных непреодолимых препятствий.

С учетом этого при оценке проходимости машины следует рассматривать систему машина–естественная (грунтовая) ездovou поверхность.

Цель исследования – получить зависимости, характеризующие влияние физико-

механических свойств грунта и его состояния (влажности) на величину сцепления ведущих колес машин с ездовой поверхностью и позволяющие установить оптимальные значения среднего удельного давления колеса трелевочно-транспортной системы, диаметра колеса и, следовательно, величины pD , характеризующей воздействие системы на ездovou поверхность, а также минимальный радиус проходимости и другие характеристики.

Объект исследования – лесотранспортный процесс.

Взаимодействие системы «машина–грунтовая поверхность» описывается уравнением

$$F_{\text{изб}} = F_{\text{сц}} - W_{\text{пол}}, \quad (1)$$

где $F_{\text{изб}}$ – избыточная (свободная) сила тяги, которая может быть использована на преодоление уклонов и перевозку

сортиментов, H – максимальная сила тяги (по сцеплению), H – сопротивление движению машины (Н/т), величину которого можно принять равной

$$W_{\text{пол}} = kb \frac{h^{\mu+1}}{\mu+1}. \quad (2)$$

Величина h , в свою очередь,

$$h = \left(\frac{p}{k} \right)^{\frac{1}{\mu}}. \quad (3)$$

Таким образом,

$$F_{\text{изб}} = \omega c + 1000gm_o \text{tg}\varphi - \frac{kb \left(\frac{p}{k} \right)^{\frac{1}{\mu}}}{\mu+1}. \quad (4)$$

Разделив $F_{\text{изб}}$ на ω получим

$$\Delta = \frac{F_{\text{изб}}}{\omega} = c + p \text{tg}\varphi - \frac{p^{\frac{\mu+1}{\mu}}}{l(\mu+1)k^{\frac{1}{\mu}}}, \quad (5)$$

где l – суммарная длина отпечатков колес КТТС, м.

В формуле (5) величина Δ зависит от удельного давления колеса – p .

Отношение $\Delta:p$ в известной мере характеризует конструкцию машин и ее пригодность для данной ездовой поверхности. Оптимальное значение $\Delta:p$ может быть получено дифференцированием выражения (5).

Однако в правой части (5) имеется величина l , зависящая от p . Ее можно найти из равенства

$$\omega = n\varepsilon l^2,$$

где ε – отношение средней ширины следа к его длине;

n – количество колес у КТТС.

В то же время

$$\omega = 1000mg/p, \quad (6)$$

где m – масса КТТС, т.

С учетом этого

$$l = \left(\frac{1000gm}{n\varepsilon p} \right)^{1/2}.$$

Таким образом

$$\Delta = c + p \text{tg}\varphi - \frac{p^{\frac{3\mu+2}{2\mu}}}{(\mu+1)k^{\frac{1}{\mu}}} \left(\frac{n\varepsilon}{1000gm} \right)^{1/2}. \quad (7)$$

Дифференцируя, будем иметь

$$\frac{d\Delta}{dp} = \text{tg}\varphi - \frac{(3\mu+2)p^{\frac{\mu+2}{2\mu}}}{2\mu(\mu+1)k^{1/\mu}} \left(\frac{n\varepsilon}{1000gm} \right)^{1/2}.$$

Приравняв $d\Delta / dp = 0$, получим

$$p_{\text{опт}} = \left[\frac{2\mu(\mu+1)k^{1/\mu} \text{tg}\varphi \left(\frac{1000gm}{n\varepsilon} \right)^{1/2}}{3\mu+2} \right]^{\frac{2\mu}{\mu+2}}, \quad (8)$$

где c – сцепление, Н/см²;

k – коэффициент, характеризующий физико-механические свойства грунта;

μ – коэффициент, характеризующий состояние грунта;

φ – угол внутреннего трения грунта.

Приняв $n = 4$ м и $\mu = 0,5$, будем иметь

$$p_{\text{опт}} = 0,7 \text{tg}^{2,5} \varphi \left(\frac{250gm}{\varepsilon} \right)^{1/5} c^{0,8}. \quad (9)$$

Например, при

$$\text{tg}\varphi = 0,36, m = 8 \text{ т}; k = 7;$$

$$\varepsilon = 1: p_{\text{опт}} = 0,7 \times 0,87 \times 7,34 \times 4,7 = 16 \text{ Н/см}^2.$$

Зная оптимальное значение удельного давления на ездовую поверхность, можно определить основные параметры КТТС, при которых можно получать наибольшую величину удельной свободной силы тяги на каждый квадратный сантиметр опорной поверхности [3–5].

При $c = 1,5$ Н/см² будем иметь по формуле (7), что

$$\Delta = 1,5 + 16 \cdot 0,36 - \frac{16}{1,5 \cdot 7^2} \left(\frac{4}{1000 \cdot 9,81 \cdot 8} \right)^{1/2} =$$

$$= 1,5 + 5,75 - \frac{13000}{73,5} \cdot \frac{2}{280} =$$

$$= 1,5 + 5,75 - 1,31 = 5,94 \text{ Н/см}^2.$$

Величина опорной поверхности (суммарной площади всех отпечатков колес) равна

$$\omega = \frac{1000gm}{p} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 8}{16} = 4900 \text{ см}^2,$$

а свободная сила тяги по сцеплению

$$F_{\text{изб}} = 4900 \cdot 5,94 = 29100 \text{ Н}.$$

Соответственно касательная сила тяги у такой машины должна быть равна [3–5]

$$F_{\text{си}} = c\omega + 1000g \cdot m \cdot \text{tg}\varphi =$$

$$= 1,5 \cdot 4900 + 1000 \cdot 9,81 \cdot 8 \cdot 0,36 = 36150$$

Сопротивление КТТС самопередвижению определится $W_{\text{кол}} = 36150 - 29100 = 7050$ Н, а удельное сопротивление движению

$$W_{\text{уд}} = \frac{7050}{8} = 880 \text{ Н/т}.$$

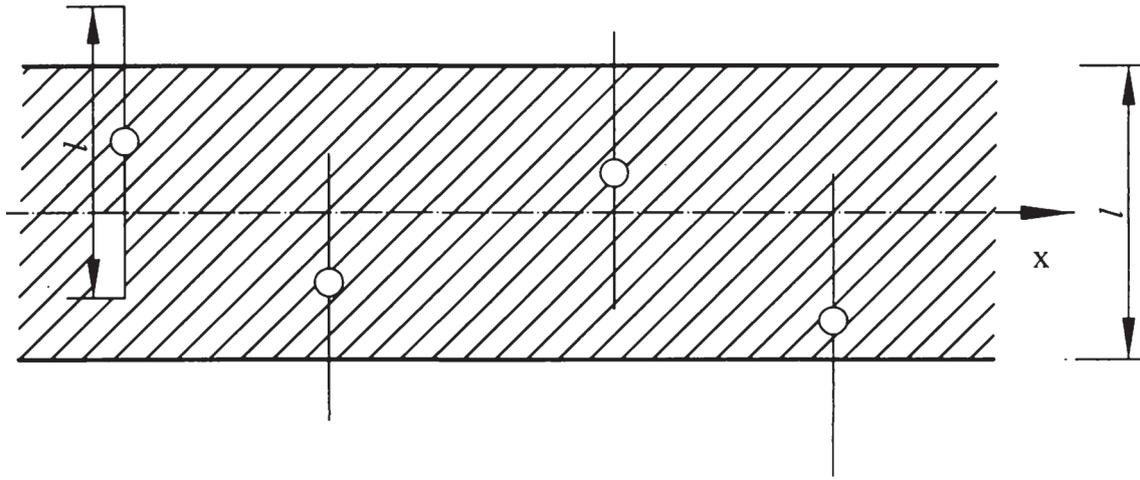


Рисунок. Расчетная схема для определения снижения скорости движения КТТС при обходе непреодолимых препятствий (деревьев)

Figure. Design scheme for the determination of reducing speed when crawling KTTS insurmountable obstacles (trees)

Коэффициент сцепления

$$\varphi = \frac{36150}{1000 \cdot 9,81 \cdot 8} = 0,46.$$

Изложенная ниже методика позволяет подойти и к определению неизвестного показателя pD для КТТС

Диаметр эквивалентного круга

$$D = \sqrt{\frac{4\omega}{n\pi}} = \sqrt{\frac{4900 \cdot 4}{4 \cdot 3,14}} = 39,5 \text{ см.}$$

Таким образом, оптимальное значение

$$pD = 16 \cdot 39,5 = 630 \text{ Н/см.}$$

Задаваясь предельной величиной вертикальной деформации колеса, можно определить диаметр колеса КТТС. Пользуясь известной формулой Хедекеля, можно написать

$$\omega_1 = \pi p \sqrt{D_k B_k}, \quad (10)$$

где ω_1 – площадь следа одного колеса, см^2 ;

h – вертикальная деформация шины колеса, см ;

D_k – диаметр колеса, см ;

B_k – ширина беговой дорожки (0,85–0,9 ширины профиля шин), см .

В то же время

$$\omega_1 = \frac{1000gm}{np}. \quad (11)$$

У трелевочных тракторов величина h , зависящая от D_k , колеблется в узких пределах и может быть принята равной $h = a D_k$, где $a = 0,04 \dots 0,048$.

Имея это в виду и приравняв друг другу правые части равенств (10) и (11), можно получить

$$D_k = 215 \sqrt{\frac{m^2}{n^2 a^2 p^2 B_k}}. \quad (12)$$

При $m = 8 \text{ т}$; $n=4$; $a=0,042$; $h=16 \text{ Н/см}^2$ и $B_k = 45 \text{ см}$ получим

$$D_k = 215 \sqrt{\frac{8^2}{4^2 \cdot 0,042^2 \cdot 16^2 \cdot 45}} = 126 \text{ см.}$$

Снижение скоростей движения КТТС при обходе непреодолимых препятствий

На трелевочном волоке такими препятствиями могут быть крупные пни высотой, превышающей дорожный просвет, валуны и т. п. При выборочных рубках непреодолимыми препятствиями являются стоящие деревья.

Решение рассматриваемой задачи заключается в определении добавочного протяжения на единицу пути, необходимого для обхода препятствия. Отношение рабочей скорости к действительной принимается равным [6, 7]

$$a = \frac{v_{\text{раб}}}{v_{\text{доб}}} = \frac{1}{1+Z}, \quad (13)$$

где Z – добавочная длина пути, м .

Предположим, что на пути движения КТТС в пределах волока имеются препятствия в виде стенок длиной S , расположенные перпендикулярно движению и случайно расположенные (рисунок).

При движении по направлению «х» КТТС будет обходить препятствия, количество которых будет в среднем равно числу N на 1 м^2 . При ширине волока l максимальный путь обгона будет равен lN [8–10]. При встрече с препятствием машина должна пройти путь $l/2 - S$ для обхода препятствия, чтобы затем продолжить путь в заданном направлении (здесь S – расстояние от середины стенки до точки упора машины в препятствие).

Средний добавочный пробег на одну стенку составит

$$b = \frac{2}{l} \int_0^{l/2} (l/2 - S) dS = \frac{1}{4},$$

а средний добавочный пробег на 1 км

$$L = lN \frac{1}{4} = \frac{Nl^2}{4}. \quad (14)$$

Необходимо отметить, что снижение времени хода КТТС практически, в основном, определяется не только удлинением пути, но и уменьшением скорости во избежание столкновения с препятствием, что можно учесть коэффициентом $K_{сн}$.

Таким образом

$$a = \frac{K_{сн}}{1 + 0,25Nl^2}. \quad (15)$$

Для круглых препятствий диаметром α

$$a = \frac{K_{сн}}{1 + 0,017d^2N}. \quad (16)$$

Формулы (15) и (16) получены при допущениях, что препятствия имеют одинаковые размеры, а машина (ТТС) представляет собой материальную точку.

Проезжаемость трелевочных волоков

Ездовыми поверхностями для ТТС являются расчищенные от древесной и кустарниковой растительности трелевочные волоки, естественные грунтовые поверхности, луговины, лесные просеки и т. п.

Проезжая часть волоков грубо планируется с засыпкой ям и срезкой горбов, препятствующих движению. При удовлетворительной эксплуатации волоков и уходе за ними неровности пологого профиля групповой поверхности по высоте, как показали исследования, не превосходят 10 см [1-2]. Автоматом по материалам натурных обследований и съемок микропрофилей волоков в Коми была

установлена следующая корреляционная зависимость между высотами пологих неровностей (в метрах)

$$H_{нер} = 0,03B + 0,002,$$

где B – длина неровности.

На волоках при высокой влажности грунта и недостаточном уходе в процессе эксплуатации возникают неровности порогового типа (пни, корни и т. п.).

Значительную часть года ездовые поверхности волоков покрыты снегом. Проезжаемость трелевочных волоков, то есть их пригодность для движения КТТС, как с грузом, так и без груза, с неэксплуатационными скоростями зависит, в основном, от наличия на ездовой поверхности:

- неровностей различного вида, в том числе пороговых, то есть с отвесными или близкими к этому стенками, расположенными выше уровня ездовой поверхности (пни, камни и т. д.);

- колеи и рытвины, образовавшиеся при движении КТТС;

- рода грунта на поверхности волока и его влажности.

Количественными показателями, характеризующими проезжаемость волока, могут быть значения коэффициента сцепления, средне известного удельного сопротивления давлению КТТС с грузом и предельные размеры (высота или глубина) редко выраженных неровностей на волоке, в том числе колеи.

Металлические свойства грунтов, слагающих ездовые поверхности, определяются зерновым составом почв и грунтов, их влажностью и плотностью, а также наличием или отсутствием дернового покрова.

В табл. 1 приводятся средние значения механических показателей связанных грунтов. Сцепные свойства несвязных грунтов в меньшей степени зависят от влажности. Величина сцепления у песков близка к нулю (в среднем $c = 0,1 \text{ Н/см}^2$ у крупных песков и доходит до $c = 0,4 \dots 0,7 \text{ Н/см}^2$ – у пылеватых и мелких песков). Сцепные свойства песчаного грунта зависят в основном от угла внутреннего трения, величина которого колеблется от $38\text{--}40^\circ$ (крупные пески) до $32\text{--}38^\circ$ (мелкие пески) [5–7].

Средние значения механических показателей связанных грунтов
Average values of mechanical parameters associated soils

Виды грунтов	Модуль деформации, Н/см ²	Угол внутреннего трения, °	Сцепление, Н/см ²	Несущая способность, Н/см ²
Влажность ниже предела пластичности				
Легкий суглинок	Свыше 2500	24–25	5–10	35–70
Суглинок	Более 3500	21–23	6–12	45–90
Глина	5000	15–20	7,5–15	50–100
Влажность равна пределу пластичности				
Легкий суглинок	До 2500	21–22	3,5–7,5	25–50
Суглинок	До 3500	18–20	4–8	35–60
Глина	До 5000	11–17	5–10	35–70
Влажность равна 55–75 % от предела текучести				
Легкий суглинок	До 1500	19–20	1,5–3,5	10–25
Суглинок	До 2000	16–18	2,5–4	17–30
Глина	2000–2500	7–15	3–5	20–30
Влажность равна пределу текучести				
Легкий суглинок	300–400	16–18	1–1,2	7–8
Суглинок	300–400	12–15	1–1,5	6–9
Глина	300–400	3–11	1–1,5	5–9

Т а б л и ц а 2

Свойства снега
Properties snow

Механические свойства снега	Плотность, г/см ³					
	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60
Сцепление, Н/см ²	0,5	0,6	6,2	9,0	12,0	22
Коэффициент трения	–	0,35	0,40	0,43	0,45	0,5
Модуль деформации, Н/см ²		60–80	150	250–300	550	1000

Сопротивление движению увеличивает липкость грунтов. Это свойство оценивают удельной силой, которую необходимо приложить к пластине для ее отрыва от грунта. Липкость грунта зависит от удельного содержания глинистых частиц в грунте и влажности. Например, для супеси липкость равна 0,5 Н/см² при $W_{от} = 0,7$; 1,2 Н/см² при $W_{от} = 0,8$; 1,8 Н/см² при $W_{от} = 0,9$; 0,8 Н/см² при $W_{от} = 1$; 0,5 Н/см² при $W_{от} = 1,1$.

Свойства смеси зависят от его плотности и температуры. Например, при $t = -10$ °С снег имеет следующие свойства (табл. 2).

Величина коэффициента сцепления зависит от физико-механических свойств грунтовой поверхности следующим образом

$$\psi = \frac{K_n K_{ш} c + \tau_p (1 - K_{ш})}{\lambda p_0} + tg\varphi, \quad (17)$$

где K_n – коэффициент, учитывающий неодновременность появления сдвигов грунта во впадинах протектора шин;

$K_{ш}$ – коэффициент распределения давления колеса на грунт между грунтозацепами и впадинами;

c – сцепление;

τ_p – удельное сопротивление трению, покрышки по грунту; λ – отношение $p: p_0$;

p – удельное давление колеса на грунт, Н/см²;

p_0 – давление воздуха в шине, кгс/см²;

φ – угол внутреннего трения грунта.

Величину средневзвешенного удельного сопротивления движению КТТС с грунтом, с учетом влияния пороговых неровностей, можно выразить

$$W_{cp} = \frac{(Q_m + \kappa Q_{пол})(W_{кол} + W_{пер}^{cp}) + (1 - \kappa) Q_{пол} W_{др}}{Q_m + Q_{пол}}, \quad (18)$$

где

$$W_{\text{кол}} = \frac{500K_n(Q\lambda p_o)^{1/4}}{(DE)^{1/2}}, \quad (19)$$

$$W_{\text{пер}}^{\text{ср}} = \frac{500K_{\text{кин}}g\beta(D-H_{\text{ср}})H_{\text{ср}}}{D-2(\delta+H_{\text{ср}})}, \quad (20)$$

где Q_m – масса КТТС, т;
 $Q_{\text{пол}}$ – масса полезной нагрузки, т;
 K – коэффициент распределения полезной нагрузки между опорным устройством КТТС и грунтовой поверхностью;
 $W_{\text{др}}$ – удельное сопротивление движению пакета сортиментов по грунту, Н/т;
 $W_{\text{кол}}$ – основное удельное сопротивление движению КТТС, Н/т;
 $W_{\text{пер}}^{\text{ср}}$ – среднее дополнительное удельное сопротивление движению КТТС по пороговым неровностям;
 Q_1 – масса КТТС, приходящаяся на 1 колесо, т;
 D – диаметр колеса, см;
 E – модуль деформации грунта, МПа;
 $K_{\text{кин}}$ – коэффициент, учитывающий возмещение расходов при преодолении порогового препятствия кинетической энергии (1,1–1,2);
 β – среднее количество пороговых препятствий на 1 пог. м волока;
 $H_{\text{ср}}$ – средняя высота порогового препятствия, см;
 δ – деформация шины под нагрузкой.

Ограничение проежаемости волоков наличием внешних непреодолимых неровностей порогового типа или глубоких, близких к величине дорожного просвета машины рытвин, колеи и т. п. может иметь место лишь при неудовлетворительном содержании волока, чего нельзя допускать.

Вывод

Получены зависимости, характеризующие влияние физико-механических свойств грунта и его состояния (влажности) на величину сцепления ведущих колес машин с ездовой поверхностью и позволяющие установить оптимальные значения среднего удельного давления колеса трелевочно-транспортной

системы, диаметра колеса и, следовательно, величины pD , характеризующей воздействие системы на ездовую поверхность, а также минимальный радиус проходимости и другие характеристики.

Библиографический список

1. Скрыпников, А.В. Оптимизация межремонтных сроков лесовозных автомобильных дорог / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова // *Фундаментальные исследования*. – 2011. – № 8 (ч. 3). – С. 667–671.
2. Комплексное моделирование процесса функционирования дороги в системе автоматизированного проектирования / Курьянов В.К. // *Транспорт Урала*. – 2008. – № 4. – С. 6–9.
3. Курьянов, В.К. Повышение эффективности обследования автомобильных дорог в районах лесозаготовок: монография / В.К. Курьянов, Е.В. Кондрашова, Ю.В. Лобанов. – М.: изд-во ФЛИНТА: Наука, 2010. – 162 с.
4. Информационные технологии для решения задач управления в условиях рационального лесопользования / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова и др. // «Международный журнал экспериментального образования»: материалы VI международной научной конференции «Современные проблемы науки и образования». – 2012. – № 2. – С. 77–78.
5. Ресурсное обеспечение процесса строительства, ремонта и содержания участков лесных автомобильных дорог / А.А. Камусин // *Вестник МГУЛ. – Лесной вестник*. – 2014. – № 2 (101). – С. 21–27.
6. Методы, модели и алгоритмы повышения транспортно-эксплуатационных качеств лесных автомобильных дорог в процессе проектирования, строительства и эксплуатации: монография / А.В. Скрыпников. – М.: изд-во ФЛИНТА: Наука, 2012. – 310 с.
7. Повышение безопасности движения автомобилей и автопоездов по дорогам в районах лесозаготовок / А.В. Скрыпников // «Международный журнал экспериментального образования»: материалы VI международной научной конференции «Современные проблемы науки и образования». – 2012. – № 2. – С. 76–77.
8. Скрыпников, А.В. Имитационное моделирование транспортного потока для оценки транспортно-эксплуатационных характеристик лесовозных автомобильных дорог / А.В. Скрыпников // *Системы управления и информационные технологии*. – 2008. – № 3.2 (33). – С. 276–278.
9. Скрыпников, А.В. Метод оптимизации планов ремонта участков лесных автомобильных дорог / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова // *Современные проблемы науки и образования*. – 2011. – № 6. www.science-education.ru/100-5155 (дата обращения: 14.02.2016).
10. Скрыпников, А.В. Модель определения экономических границ зон действия поставщиков материалов в условиях вероятностного характера дорожного строительства лесовозных автомобильных дорог / А.В. Скрыпников // *Фундаментальные исследования*. – 2011. – № 8. – С. 379–385.

LOGGING PERMEABILITY INTEGRATED TRANSPORT SYSTEMS
ON THE SKID TRAILS INFORMATION ABOUT AUTHORS

Skrypnikov A.V., Prof. Voronezh State University of Engineering Technology, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾; **Kozlov V.G.**, Assoc. Prof. Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, Ph.D. (Tech.)⁽²⁾; **Kondrashova E.V.**, Prof. Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, Dr. Sci. (Tech.)⁽²⁾; **Harutyunyan A.J.**, pg. Ukhta State Technical University⁽³⁾

skrypnikovvsafe@mail.ru

⁽¹⁾Voronezh State University of Engineering Technology, 394016, Voronezh, Revolution Avenue, 19

⁽²⁾Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, 394087, Voronezh, st. Michurina, 1

⁽³⁾Ukhta State Technical University, 169400, Republic of Komi, Ukhta, st. Pervomayskaya, 13

The purpose of research – to get depending characterizing the influence of the physical and mechanical properties of soil and its state (humidity) on the value of the clutch driving wheels of cars with rideable surface and allow to set optimal values of average specific pressure wheel skid transport system, the diameter of the wheels and, therefore, the value of pD characterizing the impact of the system on the surface of the sled, and the minimum radius of terrain and other characteristics. The object of study – the transport process. In evaluating the patency of the machine is considered a system: the car-dirt surface. The limitations of complex cross-skid transport systems. Calculate the optimal value of the specific pressure on the surface of the sled, defines the basic parameters of complex Logging transport systems, with which you can get the greatest value of the specific free traction on every square centimeter of the support surface. Defined incremental stretching per unit distance required to avoid obstacles in the form of large stump height exceeding ground clearance of boulders. It was found that the availability of skid trails to traffic logging trucks with both load and no load with no operating speed depends largely on the availability on the sled surface: irregularities of various kinds, including the threshold, that is, with steep or close to walls, located above the surface of the sled; ruts and potholes formed during the motion-wheeled vehicles; type of soil on the surface of the portage and humidity. It was found that the metallic properties of soils that form the driving surface, determined by grain composition of soils, their moisture and density, as well as the presence or absence of the sod cover. It calculates the value of the average resistivity of the complex movement of skid transport systems with the load, taking into account the effect of the threshold of irregularities.

Keywords: skid trails, wheel machine, the supporting surface, running resistance, dirt surface.

References

1. Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V. *Optimizatsiya mezhremontnykh srokov lesovoznykh avtomobilnykh dorog* [Optimization of maintenance periods of forest roads]. Fundamentalnye issledovaniya [Basic Research]. 2011. N. 8 (ch. 3). pp. 667-671.
2. Kuryanov V.K. *Kompleksnoe modelirovanie protsessa funktsionirovaniya dorogi v sisteme avtomatizirovannogo proektirovaniya* [Comprehensive modeling of the functioning of the road in the computer-aided design]. Transport Urala. 2008. N. 4. pp. 6-9.
3. Kuryanov V.K., Kondrashova E.V., Lobanov Yu.V. *Povyshenie effektivnosti obsledovaniya avtomobilnykh dorog v rayonakh lesozagotovok* [Improving the efficiency of roads in the survey logging areas]. Moskva: FLINTA Nauka Publ., 2010. 162 p.
4. Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V., Logachev V.N., Vakulin A.I. *Informatsionnyye tehnologii dlya resheniya zadach upravleniya v usloviyakh ratsionalnogo lesopolzovaniya* [Information technology for control tasks in the conditions of forest management]. Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimentalnogo obrazovaniya: materialy VI mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya» [International Journal of Experimental Education: materials of the VI International Scientific Conference «Modern problems of science and education»]. 2012. N. 2. pp. 77-78.
5. Kamusin A.A. *Resursnoe obespechenie protsessa stroitelstva, remonta i soderzhaniya uchastkov lesnykh avtomobilnykh dorog* [Financial support of the process of building, repair and maintenance of forest roads sections]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik. 2014. N. 2 (101). pp. 21-27.
6. Skrypnikov A.V. *Metody, modeli i algoritmy povysheniya transportno-ekspluatatsionnykh kachestv lesnykh avtomobilnykh dorog v protsesse proektirovaniya, stroitelstva i ekspluatatsii* [Methods, models and algorithms improve transport and performance of forest roads in the design, construction and operation]. Moskva: FLINTA Nauka Publ., 2012. 310 p.
7. Skrypnikov A.V. *Povyshenie bezopasnosti dvizheniya avtomobiley i avtopoezdov po dorogam v rayonakh lesozagotovok* [Improving the safety of movement of cars and trucks on roads in logging areas]. Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimentalnogo obrazovaniya: materialy VI mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya» [International Journal of Experimental Education: materials of the VI International Scientific Conference «Modern problems of science and education»]. 2012. N. 2. pp. 76-77.
8. Skrypnikov A.V. *Imitatsionnoe modelirovanie transportnogo potoka dlya otsenki transportno-ekspluatatsionnykh harakteristik lesovoznykh avtomobilnykh dorog* [Simulation of traffic flow to assess the performance of transport and haulage roads]. Sistemy upravleniya i informatsionnyye tehnologii. 2008. N. 3.2 (33). pp. 276-278.
9. Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V. *Metod optimizatsii planov remonta uchastkov lesnykh avtomobilnykh dorog* [Optimization method of repairing portions of forest roads planning]. Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2011. N. 6. www.science-education.ru/100-5155 (data obrascheniya: 04.10.2015).
10. Skrypnikov A.V. *Model opredeleniya ekonomicheskikh granits zon deystviya postavshchikov materialov v usloviyakh veroyatnostnogo haraktera dorozhnogo stroitelstva lesovoznykh avtomobilnykh dorog* [Model determining the boundaries of zones of economic activities of suppliers of materials in a probabilistic nature of road construction of logging roads]. Fundamentalnye issledovaniya. 2011. N. 8. pp. 379-385.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛЕЕОБРАЗОВАНИЯ НА ГРУНТОВЫХ УСАХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

В.Г. КОЗЛОВ, доц. Воронежского ГАУ, канд. техн. наук⁽¹⁾,
А.В. СКРЫПНИКОВ, проф. ВГУИТ, д-р техн. наук⁽²⁾,
Е.В. КОНДРАШОВА, проф. Воронежского ГАУ, д-р техн. наук⁽¹⁾,
А.Ю. АРУТЮНЯН, асп. УГТУ⁽³⁾

skrypnikovvsafe@mail.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»,
394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, д. 1

⁽²⁾ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ВГУИТ),
394016, г. Воронеж, проспект Революции, 19

⁽³⁾ ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет»,
169400, Республика Коми, г. Ухта, ул. Первомайская, д. 13

Цель исследования – изучение колеобразования на грунтовых усах в условиях третьего гидрологического типа местности с постройкой уса в насыпи. Объект исследования – грунтовые усы. Методы исследования – натурный эксперимент. Для каждого автомобиля был выделен опытный участок, на котором трижды в течение лета 2014 г. определялась интенсивность колеобразования. Это позволило выявить влияние изменяющегося во времени модуля деформации проезжей части на работоспособность грунтового уса. При проведении испытаний автомобили были забалластированы железобетонными плитами. В условиях третьего типа местности по характеру увлажнения средняя относительная интенсивность колеобразования определялась равной: на участке с насыпью 0,2–0,3 м – 0,02–0,25 см на один проход, на участках с насыпью высотой 0,5 м – 0,01–0,18 см проход для МАЗ-6312В9-476-012 и 0,009–0,02 см для КрАЗ-6133М6. В течение всех трех этапов эксперимента модуль деформации проезжей части в насыпи высотой 0,5 м в среднем на 25 % оказался выше модуля аналогичного показателя насыпи высотой 0,2 м, что указывает на эффективность и необходимость проложения грунтовых усов при третьем типе местности в насыпи высотой не менее 0,5 м. Анализ результатов эксперимента указывает на сравнительно невысокий рост работоспособности грунтового уса с ростом модуля деформации проезжей части до 16–17 МПа. В дальнейшем, с ростом модуля деформации работоспособность грунтового уса резко возрастает. Такой характер зависимости прослеживается как у автомобиля МАЗ-6312В9-476-012, так и у автомобиля КрАЗ-6133М6 и связан с тем, что при модуле деформации до 16–17 МПа и удельном давлении 0,4–0,5 МПа грунт, в основном, работает в стадии пластических деформаций.

Ключевые слова: грунтовый ус, насыпь, колея, модуль деформации, работоспособность.

Распределение объемов применения усов различных конструкций в зависимости от применяемого автомобиля и типа местности по степени увлажнения предопределило необходимость исследования колеобразования лесовозных автомобилей на грунтовых усах в различных гидрологических типах местности.

Теоретический анализ

С учетом того, что интенсивность колеобразования на грунтовых усах в первом и втором типах местности была довольно широко экспериментально исследована в [1], целью данного исследования являлось изучение колеобразования на грунтовых усах в условиях третьего гидрологического типа местности с постройкой уса в насыпи.

Основной задачей эксперимента была проверка возможности применения грунто-

вых усов в более сложных гидрологических условиях.

Для каждого автомобиля был выделен опытный участок, на котором трижды в течение лета 2014 г. (с 11/06 по 15/06, с 29/07 по 02/08 и с 25/09 по 29/09) определялась интенсивность колеобразования. Это позволило выявить влияние изменяющегося во времени модуля деформации проезжей части на работоспособность грунтового уса.

При проведении испытаний автомобили были забалластированы железобетонными плитами. Масса машин, ее распределение по осям и давление воздуха в шинах представлены в табл. 1.

Первый этап эксперимента был проведен в период с 11 по 15 июня 2014 г.

На рис. 1 и 2 представлены полученные в результате эксперимента зависимости глубины колеи от количества проходов, пос-

Масса машин, ее распределение по осям и давление воздуха в шинах
Weight machines, its distribution along the axes and the air pressure in the tire

Показатели	Ед. изм.	КрАЗ-6133М6	МАЗ-6312В9-476-012
1. Модель шины и ее обозначение		ВИ-3 1300×530-533	ИЯВ-126 12,0-20
2. Давление воздуха в шинах:	МПа		
передний мост		0,35	0,5
средний мост		0,40	–
задний мост		0,40	0,5
3. Масса полезной нагрузки	Т	8,1	5,4
4. Распределение нагрузки по осям:			
передняя	Т	5,58	4,8
средняя	Т	7,455	–
задняя	Т	7,455	9,4
5. Масса автомобиля с грузом	Т	20,49	13,2

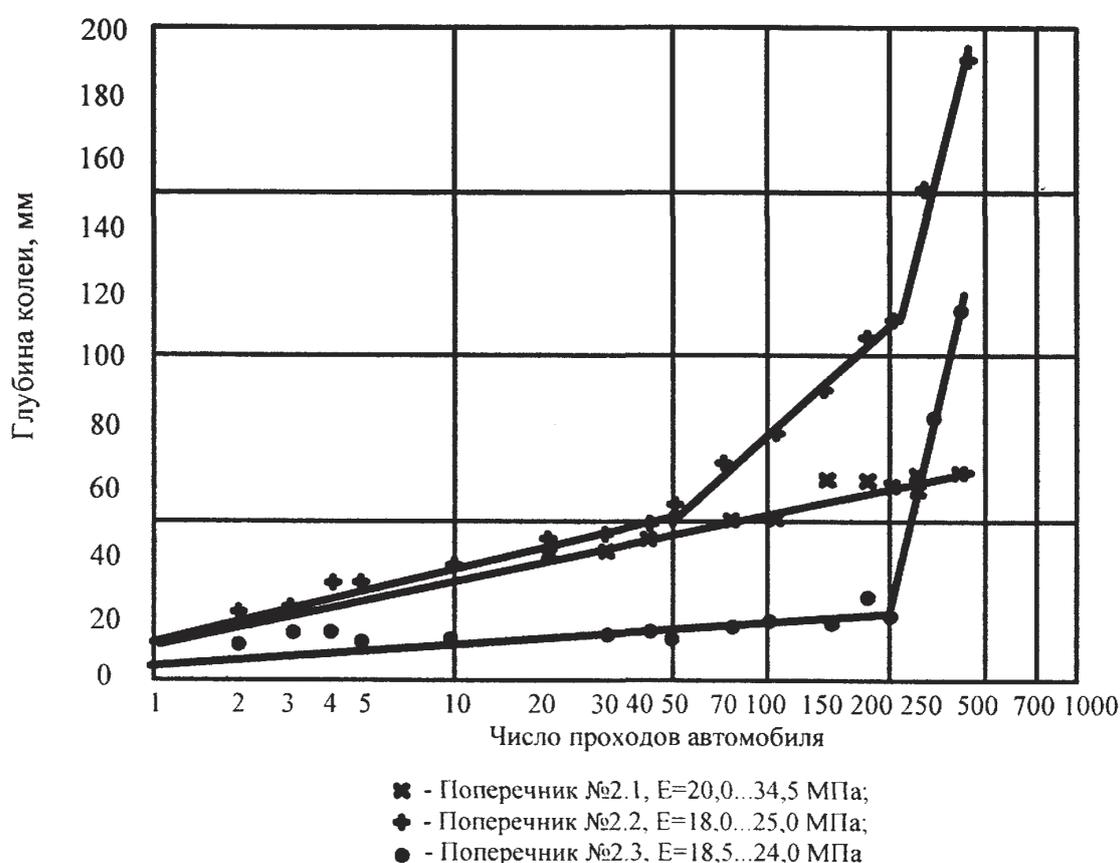


Рис. 1. График зависимости глубины колеи от количества проходов автомобиля КрАЗ-6133М6 во время первого этапа эксперимента (11–15 июня)

Fig. 1. Graph of a depth gauge on the number of vehicle passes KrAZ-6133M6 during the first phase of the experiment (June 11-15)

троенные в полулогарифмических координатах. Здесь же даны значения модуля деформации грунта в начале и в конце испытаний.

На рис. 3 и 4 приведены графики изменения влажности грунта по глубине в период испытаний.

Модуль деформации грунта в момент начала испытаний (рис. 1 и 2) на участке автомобиля МАЗ-6312В9-476-012 в среднем оказался несколько больше (на 10 %), а влажность – меньшей (на 8 %) по сравнению с аналогичным показателем участка автомо-

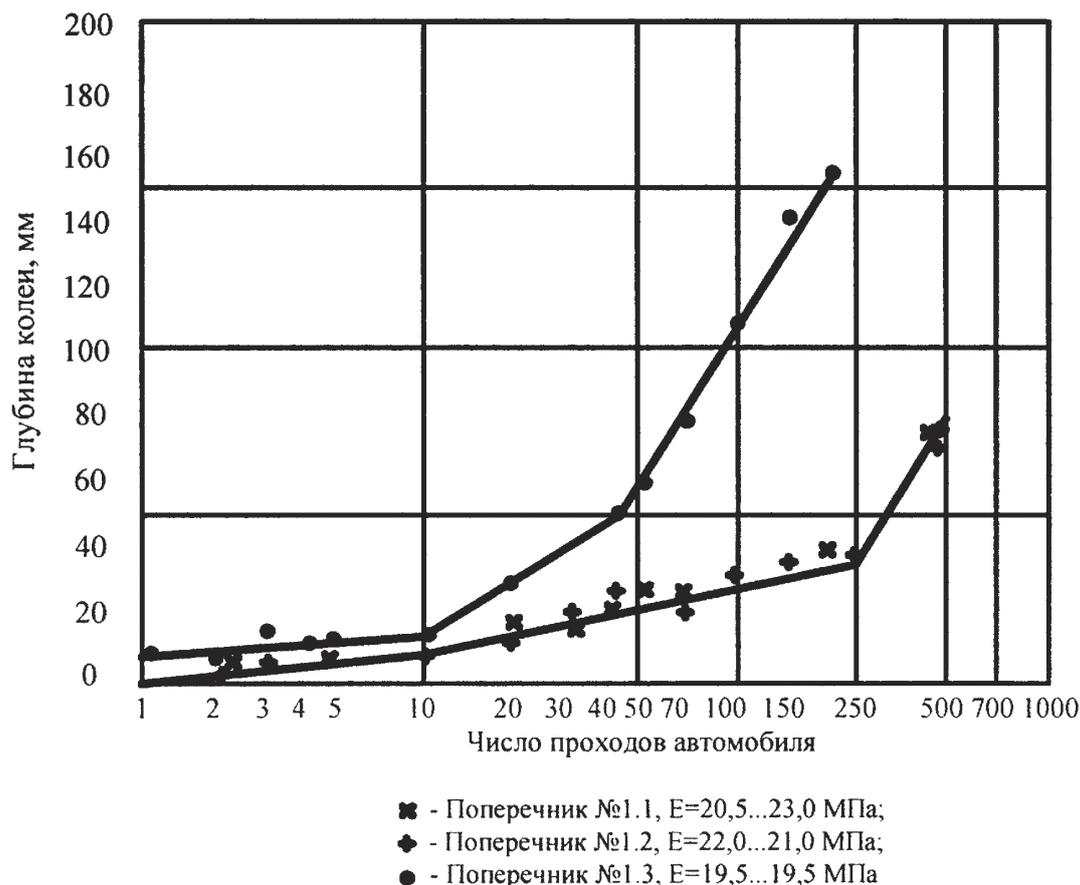


Рис. 2. График зависимости глубины колеи от количества проходов автомобиля MAZ-6312B9-476-012 во время первого этапа эксперимента (11–15 июня)
 Fig. 2. Graph of the depth gauge on the number of vehicle passes MAZ-6312V9-476-012 during the first phase of the experiment (June 11-15)

бия КраЗ-6133М6, что, очевидно, вызвано меньшей высотой насыпи на втором участке. При этом на обоих участках был зафиксирован значительный рост влажности с глубиной (рис. 3, 4), вызванный близким залеганием грунтовых вод и интенсивным просыханием грунта на поверхности. Абсолютная влажность на глубине 20–50 см была значительной, близкой к влажности границы текучести – 35–40 % [2–4].

Результаты эксперимента позволяют представить себе опорный грунтовый массив в виде модели, состоящей из сухого твердого слоя незначительной (до 10 см) толщины на слабом пластичном основании. Такая особенность проезжей части, естественно, предопределила и характер образования колеи при многократных проходах. На рис. 1, 2 явно выражен первоначальный прямой участок зависимости глубины колеи от логарифма количества про-

ходов, вызванный работой верхнего сухого слоя. При его разрушении в результате колееобразования интенсивность роста глубины колеи стала возрастать, достигнув максимума в конце первого этапа эксперимента.

По окончании первого этапа эксперимента поверхность участков была спланирована автогрейдером и уплотнена за 10 проходов прицепным катком на пневматических шинах, движение на участке было закрыто.

Второй этап эксперимента по исследованию интенсивности колееобразования было намечено провести в середине июля с целью исследования колееобразования при наибольшем общем модуле деформации грунта и наименьшей влажности, но интенсивные дожди в это период позволили начать второй этап лишь 29 июля.

Результаты экспериментов второго этапа показали, что общий характер зависи-



Рис. 3. График распределения влажности грунта по глубине на опытном участке автомобиля КрАЗ-6133М6 во время первого этапа эксперимента (11–15 июня)

Fig. 3. Schedule the distribution of soil moisture at the depth of the experimental plot KpAZ-6133M6 during the first phase of the experiment (June 11-15)



Рис. 4. График распределения влажности грунта по глубине на опытном участке автомобиля МАЗ-6312В9-476-012 во время первого этапа эксперимента (11–15 июня)

Fig. 4. Schedule the distribution of soil moisture at the depth of MAZ-6312V9-476-012 experimental vehicle area during the first phase of the experiment (June 11-15)

мостей $h = f(N)$ не изменился по сравнению с первым этапом, хотя абсолютные значения влажности и модуля деформации грунта изменялись. Возросла разница между средним значением модуля деформации грунта на участке автомобиля МАЗ-6312В9-476-012 и КрАЗ-6133М6. К моменту начала опыта она составляла 30 %, что указывает на значительное влияние на модуль высота насыпи к середине лета по сравнению с его началом.

Характер же изменения влажности с глубиной почти не изменялся, также наблюдался интенсивный рост влажности с глубиной, при этом он был, как и следовало ожидать, более интенсивным для опытного участка автомобиля КрАЗ-6133М6, имеющего меньшую высоту насыпи.

Характер зависимости глубины колеи от количества проходов остался прежним. Однако на первом поперечнике опытного участка автомобиля МАЗ-6312В9-476-012 с модулем $E = 27$ МПа была зафиксирована незначительная глубина колеи (в пределах точности ее определения $\pm 0,5$ см) даже после 1000 проходов. Третий этап эксперимента по исследованию интенсивности колееобразования был проведен в период с 25 по 29 сентября.

Отмечается, что модуль деформации проезжей части к этому времени несколько снизился, что вызвано увеличением влажности грунта, прежде всего, в верхнем несущем слое. При этом влажность почти выровнялась по глубине, что особенно характерно для участка автомобиля КрАЗ-6133М6 с невысокой насыпью. Для более высокой насыпи участка автомобиля МАЗ-6312В9-476-012 по-прежнему сохранилось возрастание влажности с ростом глубины, хотя и не столь интенсивное, чем ранее.

Выравнивание влажности по глубине при высоком ее значении и исчезновение сухого, более прочного верхнего слоя, вызвало более интенсивный рост глубины колеи с увеличением количества проходов. Отмеченное особо характерно для участков, на котором испытывался автомобиль КрАЗ-6133М6.

По-прежнему для всех участков характерным оказалось изменение глубины колеи с ростом количества проходов, выраженное

ломаной линией, в полулогарифмических координатах. Следует указать, что такой характер зависимости $h = f(N)$ имел место и при лабораторных исследованиях интенсивности накопления остаточных деформаций при многократных приложениях нагрузки, проведенных [5–8].

Анализ полученных графиков зависимости глубины колеи от количества проходов показывает, что наиболее близко она может быть аппроксимирована уравнением, предложенным в [9]

$$h = \frac{pD}{E} (1 + b(N-1) + c \cdot \ln N), \quad (1)$$

где N – количество проходов автомобиля;

E – модуль деформации грунта;

p – удельная нагрузка на грунт;

D – диаметр эквивалентного круга отпечатка колеса;

b и c – коэффициенты, которые по данным опыта могут быть приняты в пределах $b = 0,01-0,02$ и $c = 0,3-0,7$.

Проведем сравнение интенсивности колееобразования автомобилями МАЗ-6312В9-476-012 и КрАЗ-6133М6. Для учета грузоподъемности машин используем показатель отношения глубины колеи к перевезенному грузу. Результаты расчета представлены в табл. 2.

Анализ полученных данных подтверждает известное положение о первостепенном влиянии на интенсивность колееобразования произведения pD автомобиля и модуля деформации грунта. Как и следовало ожидать, интенсивность колееобразования автомобиля КрАЗ-6133М6 на тонну перевезенного груза в целом оказалась меньше, чем у автомобиля МАЗ-6312В9-476-012 вследствие более низкого значения pD . С ростом модуля деформации грунта интенсивность колееобразования снижается.

В течение всех трех этапов эксперимента модуль деформации проезжей части в насыпи высотой 0,5 м в среднем на 25 % оказался выше модуля аналогичного показателя насыпи высотой 0,2 м, что указывает на эффективность и необходимость проложения грунтовых усов при третьем типе местности, в насыпи высотой не менее 0,5 м.

**Интенсивность колееобразования на грунтовых усах
от движения автомобилей МАЗ-6312В9-476-012 и КрАЗ-6133М6**

The intensity of the rutting on the ground from the movement mustache MAZ-6312V9-476-012 and KrAZ-6133M6

Марка автомобиля	Номер поперечника	Модуль деформации грунта, МПа	Относительная влажность грунта			Число проходов автомобилей, n	Глубина колеи, h , см	Перевезено груза, G , т	Интенсивность колееобразования	
			на глубине 0–10 см	на глубине 20–50 см	средняя глубина 0–50 см				h/n	h/G , см/т
Первый этап эксперимента, 11-15 июня										
МАЗ-6312В9-476-012	1,1	20,5	0,47	0,74	0,65	450	8,0	2430	0,0178	0,0033
МАЗ-6312В9-476-012	1,2	22,0	0,42	0,69	0,58	450	7,5	2430	0,0167	0,0031
МАЗ-6312В9-476-012	1,3	19,5	0,32	0,82	0,72	90	10	486	0,1111	0,0208
КрАЗ-6133М6	2,1	20,0	0,46	0,87	0,66	400	6,5	3240	0,0162	0,0020
КрАЗ-6133М6	2,2	18,0	0,50	0,92	0,76	300	15	2430	0,0321	0,0062
КрАЗ-6133М6	2,3	18,5	0,58	0,70	0,66	470	15	3807	0,0319	0,0039
Второй этап эксперимента, 29 июля – 2 августа										
МАЗ-6312В9-476-012	1,1	27,0	0,31	0,65	0,54	1000	0	5400	–	–
МАЗ-6312В9-476-012	1,2	22,5	0,42	0,67	0,59	1000	5	5400	0,005	0,0009
МАЗ-6312В9-476-012	1,3	22,0	0,28	0,70	0,56	250	10	1350	0,04	0,0074
КрАЗ-6133М6	2,1	18,0	0,38	0,66	0,56	1000	9,5	8100	0,0095	0,0012
КрАЗ-6133М6	2,2	15,5	0,47	0,84	0,72	275	15	2228	0,0545	0,0067
КрАЗ-6133М6	2,3	16,0	0,52	0,65	0,61	900	15	7290	0,0167	0,0020
Третий этап эксперимента, 25-29 сентября										
МАЗ-6312В9-476-012	1,1	22,4	0,54	0,75	0,68	625	10	3375	0,016	0,0030
МАЗ-6312В9-476-012	1,2	18,0	0,53	0,79	0,70	350	10	1890	0,028	0,0053
МАЗ-6312В9-476-012	1,3	20,0	0,51	0,64	0,60	550	10	2970	0,0182	0,0034
КрАЗ-6133М6	2,1	20,0	0,59	0,67	0,64	970	15	7857	0,0155	0,0020
КрАЗ-6133М6	2,2	15,0	0,55	0,79	0,67	130	15	1053	0,1154	0,0142
КрАЗ-6133М6	2,3	10,0	0,69	0,59	0,62	60	15	486	0,25	0,0309

Под работоспособностью понималось количество проходов автомобиля до образования колеи с предельно допустимой глубиной 15 см для КрАЗ-6133М6 и 10 см для МАЗ-6312В9-476-012. Указанные предельные значения глубины колеи были предложены в [10] и подтверждены в процессе экспериментов. При указанной глубине колеи валики, образо-

вавшиеся по бокам колеи в результате выпирания грунта, были столь значительными, что препятствовали проезду автомобилей (дорожный просвет был полностью использован).

Анализ результатов эксперимента указывает на сравнительно невысокий рост работоспособности грунтового уса с ростом модуля деформации проезжей части до 16–17 МПа.

В дальнейшем, с ростом модуля деформации, работоспособность грунтового уса резко возрастает. Такой характер зависимости прослеживается как у автомобиля МАЗ-6312В9-476-012, так и у автомобиля КрАЗ-6133М6 и связан, очевидно, с тем, что при модуле деформации до 16–17 МПа и удельном давлении 0,4–0,5 МПа грунт, в основном, работает в стадии пластических деформаций.

Проведенные трижды в течение лета 2014 г. эксперименты по исследованию интенсивности колееобразования автомобилями МАЗ-6312В9-476-012 и КрАЗ-6133М6 на одних и тех же участках грунтовых усов в условиях третьего типа местности по степени увлажнения позволяют сделать следующие **выводы**:

1. Для условий третьего типа местности и наличия насыпи характерной является модель ездовой поверхности в виде тонкого сухого прочного слоя на слабом пластичном основании; влажность грунта растет с ростом глубины, интенсивность роста влажности уменьшается с ростом высоты насыпи.

2. В условиях третьего типа местности по характеру увлажнения средняя относительная интенсивность колееобразования определялась равной: на участке с насыпью 0,2–0,3 м – 0,02–0,25 см на 1 проход (КрАЗ-6133М6) на участках с насыпью высотой 0,5 м – 0,01–0,18 см проход для МАЗ-6312В9-476-012 и 0,009–0,02 для КрАЗ-6133М6.

3. Подтверждено первостепенное влияние на интенсивность колееобразования модуля деформации грунта и показателя pD автомобиля, характеризующего воздействие автомобилей на ездовую поверхность, интенсивность колееобразования автомобиля КрАЗ-6133М6 при прочих равных условиях ниже этого показателя для автомобиля МАЗ-6312В9-476-012.

4. Установлено, что в третьем типе местности при устройстве земляного полотна в насыпи высотой не менее 0,5 м при глубине залегания грунтовых вод не менее 1 м от поверхности земли и наличии канав возможна организация вывозки лесопродукции по грунтовым усам.

5. Зависимость роста глубины колеи при многократных проходах машин для рас-

сматриваемых условий (3-й тип местности, насыпь высотой 0,5 м, глубина стояния грунтовых вод – не менее 1 м) может быть выражена формулой (1), при этом значение коэффициентов b и c могут быть приняты для суглинков в пределах: $b = 0,01...0,02$ и $c = 0,3...0,7$.

Библиографический список

1. Скрыпников, А.В. Оптимизация межремонтных сроков лесовозных автомобильных дорог / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова // *Фундаментальные исследования*. – 2011. – № 8 (ч. 3). – С. 667–671.
2. Комплексное моделирование процесса функционирования дороги в системе автоматизированного проектирования / Курьянов В.К. // *Транспорт Урала*. – 2008. – № 4. – С. 6–9.
3. Курьянов, В.К. Повышение эффективности обследования автомобильных дорог в районах лесозаготовок: монография / В.К. Курьянов, Е.В. Кондрашова, Ю.В. Лобанов. – М.: изд-во ФЛИНТА: Наука, 2010. – 162 с.
4. Информационные технологии для решения задач управления в условиях рационального лесопользования / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова и др. // «Международный журнал экспериментального образования»: материалы VI международной научной конференции «Современные проблемы науки и образования». – 2012. – № 2. – С. 77–78.
5. Ресурсное обеспечение процесса строительства, ремонта и содержания участков лесных автомобильных дорог / А.А. Камусин // *Вестник Московского государственного университета леса. – Лесной вестник*. – 2014. – № 2 (101). – С. 21–27.
6. Методы, модели и алгоритмы повышения транспортно-эксплуатационных качеств лесных автомобильных дорог в процессе проектирования, строительства и эксплуатации: монография / А.В. Скрыпников. – М.: изд-во ФЛИНТА: Наука, 2012. – 310 с.
7. Повышение безопасности движения автомобилей и автопоездов по дорогам в районах лесозаготовок / А.В. Скрыпников // «Международный журнал экспериментального образования»: материалы VI международной научной конференции «Современные проблемы науки и образования». – 2012. – № 2. – С. 76–77.
8. Скрыпников, А.В. Имитационное моделирование транспортного потока для оценки транспортно-эксплуатационных характеристик лесовозных автомобильных дорог / А.В. Скрыпников // *Системы управления и информационные технологии*. – 2008. – № 3.2 (33). – С. 276–278.
9. Скрыпников, А.В. Метод оптимизации планов ремонта участков лесных автомобильных дорог / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова // *Современные проблемы науки и образования*. – 2011. – № 6. www.science-education.ru/100-5155 (дата обращения: 04.10.2015).
10. Скрыпников, А.В. Модель определения экономических границ зон действия поставщиков материалов в условиях вероятностного характера дорожного строительства лесовозных автомобильных дорог / А.В. Скрыпников // *Фундаментальные исследования*. – 2011. – № 8. – С. 379–385.

RESULTS OF THE STUDY ON SOIL RUTTING MUSTACHE FOREST ROADS

Kozlov V.G., Assoc. Prof. Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, Ph.D. (Tech.)⁽¹⁾; Skrypnikov A.V., Prof. Voronezh State University of Engineering Technology, Dr. Sci. (Tech.)⁽²⁾; Kondrashova E.V., Prof. Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾; Harutyunyan A.J., pg. Ukhta State Technical University⁽³⁾

skrypnikovvsafe@mail.ru

⁽¹⁾ Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, 394087, Voronezh, st. Michurina, 1

⁽²⁾ Voronezh State University of Engineering Technology, 394016, Voronezh, Revolution Avenue, 19

⁽³⁾ Ukhta State Technical University, 169400, Republic of Komi, Ukhta, st. Pervomayskaya, 13

The purpose of the study – the study of rutting on the ground mustache under a third of the hydrological type of terrain with the construction of baleen in the mound. The object of study – ground mustache. Methods of study – full-scale experiment. Each car has been isolated experimental site, which three times during the summer of 2014 was determined by the intensity of rutting. It revealed the influence of time-varying deformation modulus of the carriageway on the performance of the soil mustache. When testing the cars were loaded with concrete slabs. In the context of the third type of terrain the nature of moistening the average relative intensity of rutting is determined to be: on the plot with the bulk of 0.2 ... 0.3 m – 0.02 ... 0.25 cm on a single pass, in areas with a bulk height of 0.5 m – 0.01 ... 0.18 cm passage MAZ 6312V9-476-012 0.009 and 0.02 cm for ... KrAZ-6133M6. During all three phases of the experiment deformation modulus carriageway mound height of 0.5 m on average of 25 % was higher than the similar parameter module mound height of 0,2 m, indicating that the effectiveness and the need for laying underground whiskers in the third type of terrain, embankments height of at least 0.5 m. Analysis of the experiment indicates the comparatively low growth performance mustache ground with increasing deformation modulus roadway up to 16...17 MPa. With increasing module efficiency of ground deformation mustache sharply. This dependence can be traced like MAZ-6312V9-476-012, and at KrAZ-6133M6, and due to the fact that the deformation modulus up to 16...17 MPa and a surface pressure of 0.4–0,5 MPa the ground in basically operates in a stage of plastic deformation.

Keywords: compactor mustache mound track, deformation modulus, of capacity for work.

References

1. Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V. *Optimizatsiya mezhremontnykh srokov lesovoznykh avtomobilnykh dorog* [Optimization of maintenance periods of forest roads]. Fundamentalnyie issledovaniya [Basic Research]. 2011. N. 8 (ch. 3). pp. 667-671.
2. Kuryanov V.K. *Kompleksnoe modelirovanie protsessy funktsionirovaniya dorogi v sisteme avtomatizirovannogo proektirovaniya* [Comprehensive modeling of the functioning of the road in the computer-aided design]. Transport Urala. 2008. N. 4. pp. 6-9.
3. Kuryanov V.K., Kondrashova E.V., Lobanov Yu.V. *Povyishenie effektivnosti obsledovaniya avtomobilnykh dorog v rayonakh lesozagotovok* [Improving the efficiency of roads in the survey logging areas]. Moskva: FLINTA Nauka Publ., 2010. 162 p.
4. Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V., Logachev V.N., Vakulin A.I. *Informatsionnyie tehnologii dlya resheniya zadach upravleniya v usloviyakh ratsionalnogo lesopolzovaniya* [Information technology for control tasks in the conditions of forest management]. Mezhdunarodnyiy zhurnal eksperimentalnogo obrazovaniya: materialy VI mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya» [International Journal of Experimental Education: materials of the VI International Scientific Conference «Modern problems of science and education»]. 2012. N. 2. pp. 77-78.
5. Kamusin A.A. *Resursnoe obespechenie protsessy stroitelstva, remonta i soderzhaniya uchastkov lesnykh avtomobilnykh dorog* [Financial support of the process of building, repair and maintenance of forest roads sections]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik. 2014. N. 2 (101). pp. 21-27.
6. Skrypnikov A.V. *Metody, modeli i algoritmy povyisheniya transportno-ekspluatatsionnykh kachestv lesnykh avtomobilnykh dorog v protsesse proektirovaniya, stroitelstva i ekspluatatsii* [Methods, models and algorithms improve transport and performance of forest roads in the design, construction and operation]. Moskva: FLINTA Nauka Publ., 2012. 310 p.
7. Skrypnikov A.V. *Povyishenie bezopasnosti dvizheniya avtomobiley i avtopoezdov po dorogam v rayonakh lesozagotovok* [Improving the safety of movement of cars and trucks on roads in logging areas]. Mezhdunarodnyiy zhurnal eksperimentalnogo obrazovaniya: materialy VI mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya» [International Journal of Experimental Education: materials of the VI International Scientific Conference «Modern problems of science and education»]. 2012. N. 2. pp. 76-77.
8. Skrypnikov A.V. *Imitatsionnoe modelirovanie transportnogo potoka dlya otsenki transportno-ekspluatatsionnykh harakteristik lesovoznykh avtomobilnykh dorog* [Simulation of traffic flow to assess the performance of transport and haulage roads]. Sistemy upravleniya i informatsionnyie tehnologii. 2008. N. 3.2 (33). pp. 276-278.
9. Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V. *Metod optimizatsii planov remonta uchastkov lesnykh avtomobilnykh dorog* [Optimization method of repairing portions of forest roads planning]. Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2011. N. 6. www.science-education.ru/100-5155 (data obrascheniya: 04.10.2015).
10. Skrypnikov A.V. *Model opredeleniya ekonomicheskikh granits zon deystviya postavshikov materialov v usloviyakh veroyatnogo haraktera dorozhnogo stroitelstva lesovoznykh avtomobilnykh dorog* [Model determining the boundaries of zones of economic activities of suppliers of materials in a probabilistic nature of road construction of logging roads]. Fundamentalnyie issledovaniya. 2011. N. 8. pp. 379-385.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛЕСОВОЗНОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

В.В. НИКИТИН, доц. МГУЛ, канд. техн. наук,

В.Г. КОЗЛОВ, доц. «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», канд. техн. наук⁽²⁾,

А.Ю. АРУТЮНЯН, асп. «Ухтинский государственный технический университет»⁽³⁾,
М.М. УМАРОВ, асп. МГУЛ⁽¹⁾

nick@mgul.ac.ru, rivenelasoul@mail.ru, info@ugtu.net

⁽¹⁾ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1

⁽²⁾ «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»,
394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, д. 1

⁽³⁾ «Ухтинский государственный технический университет»,
69300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Первомайская д. 13

Все проблемы, связанные с системами управления дорожным движением, постепенно решаются путем теоретического анализа и натурных экспериментов. При рассмотрении крупномасштабных транспортных систем не всегда легко предложить достаточно точную теорию или провести адекватные их масштабу экспериментальные исследования. Поэтому необходимо компенсировать недостаток средств для исследования путем использования нематематических моделей. В статье описана техника имитационного моделирования функционирования лесовозной автомобильной дороги с помощью ЭВМ. Для проведения имитационного моделирования были определены следующие данные: параметры, связанные с индивидуальными автопоездами: скорость, тип и размер автопоезда, максимальное ускорение; общие характеристики обгонов; характеристики дороги: число полос, ограничение скорости, расположение въездов и съездов. Рассмотрены возможные варианты возникновения различных ситуаций на лесовозной автомобильной дороге, для которых составлены модели движения автопоезда: модель свободного движения: автопоезд, не имеющий препятствий в движении по участку некоторой длины; автопоезд, следующий за лидером; автопоезд, изменяющий полосу движения; автопоезд, выполняющий маневр слияния.

Ключевые слова: лесовозная автомобильная дорога, имитационное моделирование, автопоезд, дорожное движение, функционирование дороги.

Хотя проблемы, связанные с системами управления дорожным движением, постепенно решаются путем теоретического анализа и натурных экспериментов, при рассмотрении крупномасштабных транспортных систем не всегда легко предложить достаточно точную теорию или провести адекватные их масштабу экспериментальные исследования. Поэтому важно уметь компенсировать недостаток средств для исследования путем использования нематематических моделей. Хотя имеются некоторые примеры использования аналоговых моделей, основанных на применении специализированных вычислительных устройств, для целей подобного нематематического моделирования обычно применяют компьютер, поскольку малая общность аналоговых моделей делает невыгодными капиталовложения в разработку реализующих их средств вычислительной техники. Попытки подобного применения компьюте-

ров для имитационного моделирования дорожного движения предпринимались достаточно давно, поскольку модель автопоезда интуитивно понятна и сравнительно просто представляется кодами компьютера [1–3].

Однако имитационное моделирование транспортного потока на лесовозной дороге не является простым делом в связи со сложностью системы и невозможностью моделировать все факторы, воздействующие на нее. Поэтому, для того чтобы решить некоторую задачу методом моделирования, необходимо сузить как ее постановку, так и масштабы модели. Тем не менее, техника имитационного моделирования на ЭВМ позволяет иметь дело с более детальными моделями, чем аналитические методы, и выполнять более безопасные, дешевые и быстрые эксперименты, чем при натурном экспериментировании [4].

Рассмотрим технику имитационного моделирования функционирования лесовоз-

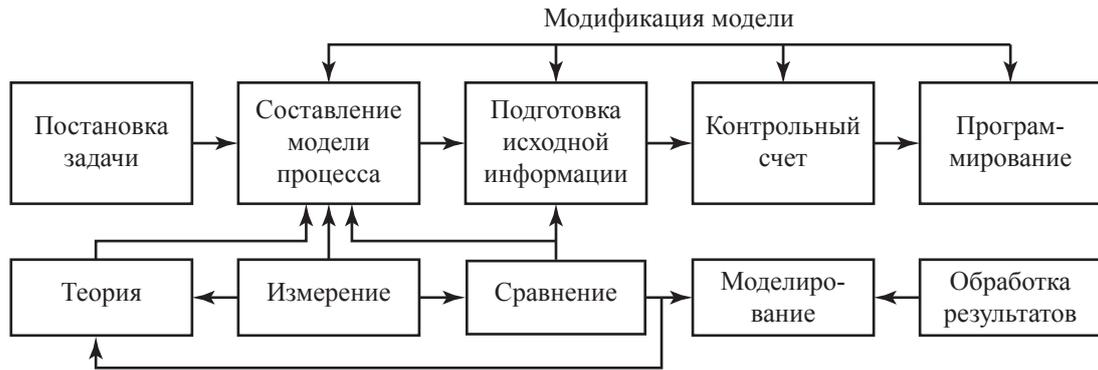


Рис. 1. Этапы имитационного моделирования
Fig. 1. Stages of simulation

ной автомобильной дороги с помощью ЭВМ (рис. 1).

Теоретический анализ

Моделирование функционирования лесовозной дороги связано с взаимодействием автопоездов в процессе движения. Когда используется физическая модель, то дорога делится на участки протяженностью, равной средней длине автопоезда, и если игнорируется распределение длин автопоездов, то каждый автопоезд представляется двоичной единицей, как показано на рис. 2, а,б. Если учитывается длина автопоездов, то дорога разбивается на участки меньшей длины, и каждый автопоезд представляется цепочкой

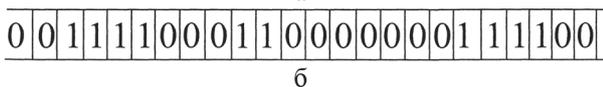
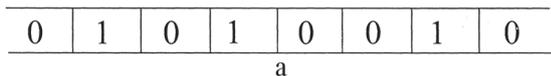


Рис. 2. Физическая модель
Fig. 2. Physical model

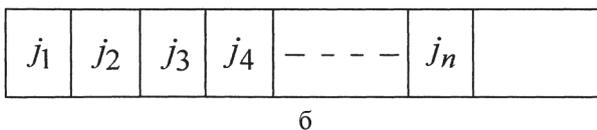
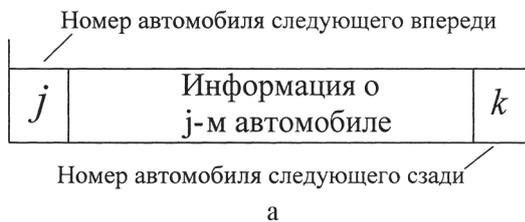


Рис. 3. Информация о порядке следования автопоездов
Fig. 3. Information about the following order trains

единиц. Поскольку автопоезда «физической» модели обычно передвигаются на основе простых логических посылок, такая модель не может быть использована для детального исследования.

В математической модели автопоезд, попадающий на дорогу на въезде или в начале дороги (возможно фиктивной), получает идентификационный номер и информация относительно места его нахождения, скорости и т. д. записывается в участок памяти, соответствующий данному номеру. Обгоны автопоездов могут представляться различными способами. Один из них состоит в использовании списочной структуры, в рамках которой вместе с информацией, относящейся к данному автопоезду, заполняются номера автопоездов, едущих впереди и сзади него, как показано на рис. 3, а. Другой заключается в подготовке перечня номеров автопоездов, представляющего порядок их следования, как показано на рис. 3, б. «Математическая» модель может быть использована для имитационного моделирования таких сложных ситуаций [5].

Методика

Для проведения имитационного моделирования были определены следующие данные:

- параметры, связанные с индивидуальными автопоездами: скорость, тип или размер автопоезда, максимальное ускорение и т. д.;
- общие характеристики обгонов;
- характеристики дороги: число полос, ограничение скорости, расположение въездов и съездов и т. д.

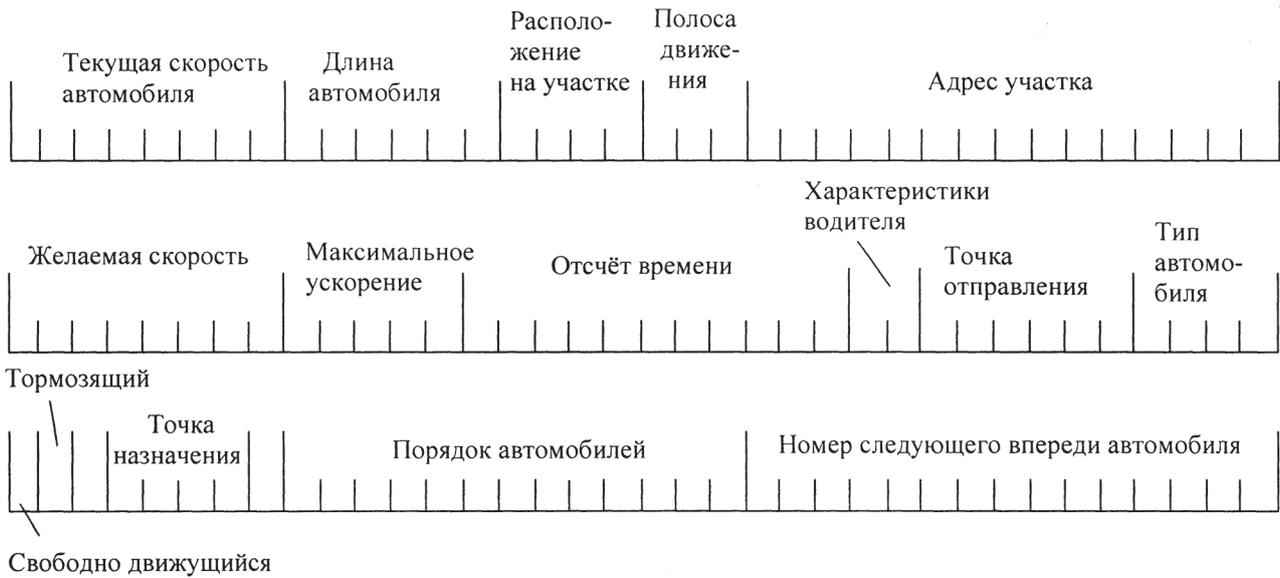


Рис. 4. Информация об автопоезде
Fig. 4. Information about the road train

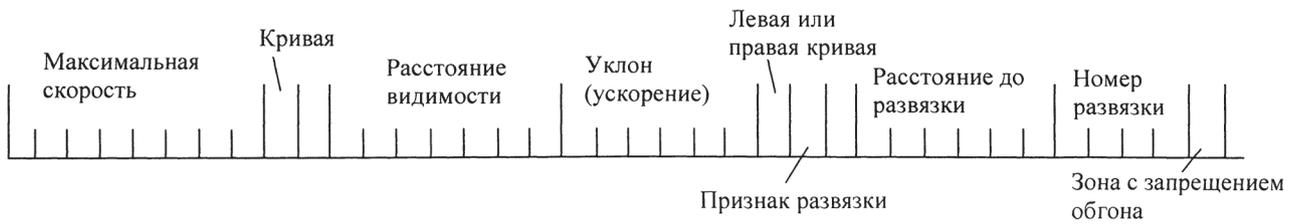


Рис. 5. Информация об участке дороги
Fig. 5. Information section of the road

Данные по первому из этих пунктов запоминаются в участке памяти совместно с текущей информацией относительно места расположения автопоезда. Структура памяти в имитационной модели показана на рис. 4. Этот пример относится к случаю универсальной имитационной модели движения по автомобильной магистрали, реализованной на ЭВМ; для представления информации об одном автопоезде используются три 36-разрядных машинных слова. Одно машинное слово используется, как показано на рис. 5, для представления характеристик каждого участка дороги длиной 4,88 м. Данная модель является очень детализированной, типичными для имитационного моделирования являются более простые модели [6–7].

Для каждого автопоезда, представленного выше, в каждом периоде времени Δt определяется величина ускорения \ddot{x} , скорость пересчитывается по формуле $y + \ddot{x}\Delta t$ и автопоезд сдвигается на расстояние $y\Delta t$. Для раз-

личных ситуаций, в которые попадает автопоезд, ускорение x определяется по-разному.

С использованием рис. 5 составлены различные модели движения автопоезда на лесовозной автомобильной дороге [6–7].

1. Модель свободного движения: автопоезд, не имеющий препятствий в движении по участку некоторой длины (автопоезд $i = 1$ на рис. 6), может быть передвинут с ускорением

$$\ddot{x}_i(t + \tau) = K_1 \{v_{di} - x(t)\} + \langle r \rangle, \quad (1)$$

где τ – время реакции водителя;

K_1 – константа;

v_{di} – желаемая скорость i -го автопоезда;

$\langle r \rangle$ – случайная переменная, называемая шумом ускорения. Для ее представления будем использовать нормальное распределение [8].

2. Автопоезд, следующий за лидером: i -й автопоезд (автопоезд 2 на рис. 6), впереди которого движется более медленный автопоезд j (автопоезд 1 на рис. 6), может быть

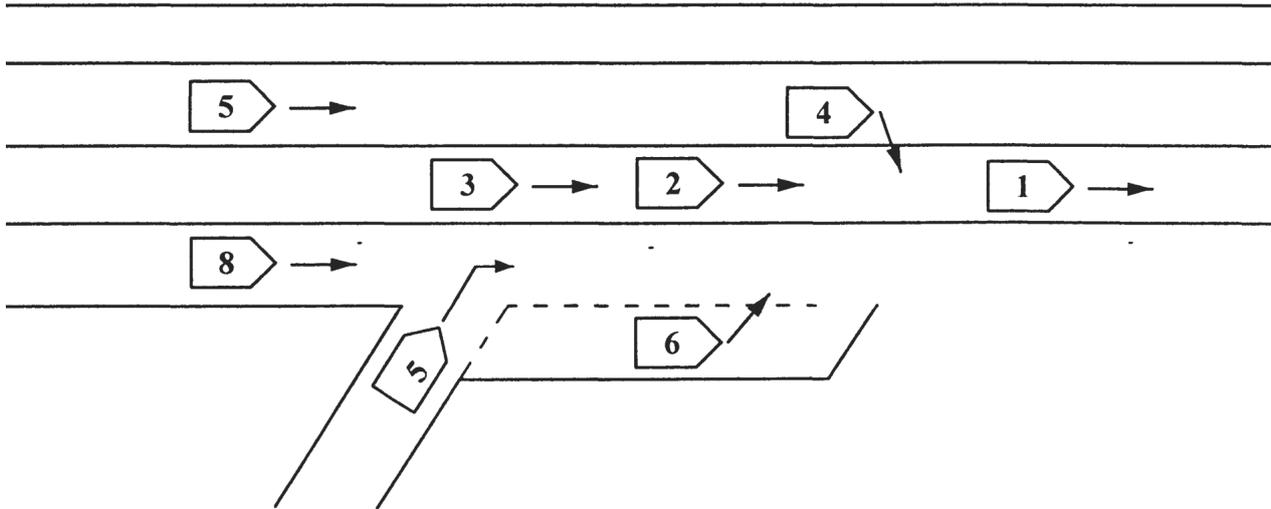


Рис. 6. Расположение автопоездов
Fig. 6. Location trains

передвинут на основе модели следования за лидером

$$\ddot{x}_i(t + \tau) = [k_2 \{x_j(t) - x_i(t)\} / \{x_j(t) - x_i(t)\} + < r >. \quad (2)$$

Для того чтобы определить, к какому типу в данный момент времени относится конкретный автопоезд, свободно движущемуся или следующему за лидером, может быть использована величина интервала времени между этим автопоездом и движущимся впереди. По экспериментальным данным, граничным является интервал в 7 с для легкового автомобиля и 4 с для грузового.

3. Автопоезд, изменяющий полосу движения. Смена полосы движения (автопоезд 3 на рис. 6) рассматривается путем введения вероятности этого события, определяемой по величине временного интервала t между данным и движущимся сзади по соседней полосе автомобилями (автопоезд 5 на рис. 6) Вероятность $P(t)$ смены полосы движения за фиксированное время как функцию упомянутого временного интервала t часто выражают формулой

$$p(t) = \begin{cases} 0 & t \leq t_m \\ \frac{t - t_m}{t_M - t_m}, & t_m \leq t \leq t_M \\ 1 & t_M \leq t \end{cases} \quad (3)$$

где t_m и t_M соответственно равны 1,5 и 4,0 с.

График этой функции приведен на рис. 7. Если $t_m \leq t \leq t_M$ то мы можем решить, нужно ли менять полосу, генерируя случай-

ное число u , равномерно распределенное в интервале от 0 до 1, при этом, если $u \leq P(t)$, то смена полосы происходит при условии, что скорость автопоезда ограничивается медленно движущимся впереди автопоездом [9].

4. Автопоезд, выполняющий маневр слияния. Автопоезд, въезжающий на дорогу с въезда, может рассматриваться аналогично предыдущему случаю. Если имеется полоса ускорения (автопоезд 6 на рис. 6), то мы можем прямо использовать уравнение (3). В случае, когда такой полосы нет (автопоезд 7 на рис. 6), предлагается вероятность (рис. 7, а)

$$p(t) = \begin{cases} 0, & t \leq t_m \\ 1 - \exp\left\{-\left(\frac{t - t_m}{t - t_m}\right)\right\}, & t \geq t_m \end{cases} \quad (4)$$

где t – средний временной интервал в потоке, приемлемый для вхождения в него стоящего транспортного средства; график $P(t)$ приведен на рис. 7, б.

Прибытия автопоездов как на въезде, так и на полосе движения, куда осуществляются вхождения, генерировались с использованием случайных чисел [10–12].

Распределение интервалов может быть принято экспоненциальным или эрланговским. Параметры отдельных автопоездов, такие как желаемая скорость, размеры и так далее, также определяются случайными числами, причем, для скорости вполне подходит нормальное

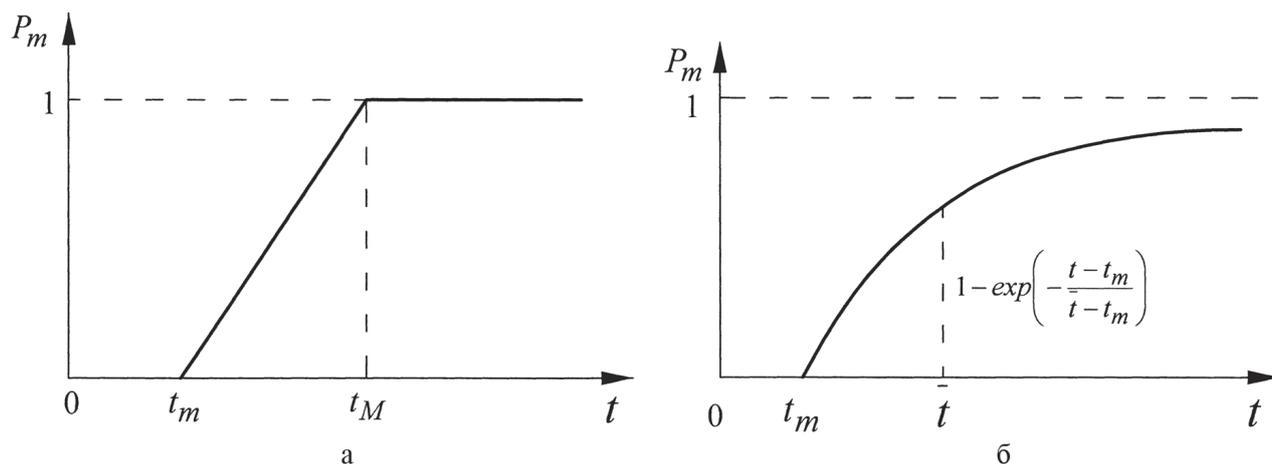


Рис. 7. Вероятность смены полос движения и въезда на дорогу
 Fig. 7. The change lanes and the entry to the road

распределение; что же касается размеров автопоездов, то их распределение различно как по дорогам, так и по годам (состав движения может заметно различаться в 2004 и 2014 гг.).

Назовем отношение времени, необходимого для моделирования на ЭВМ, к длительности моделируемого процесса отношением реального времени.

При проведении эксперимента это отношение колебалось в широких пределах в зависимости от масштабов транспортной сети. При моделировании функционирования участка лесовозной автомобильной дороги длиной 400 м на ЭВМ ($\Delta t = 0,25$ с), отношение реального времени составило $35 \div 38$.

Библиографический список

1. Скрыпников, А.В. Методы, модели и алгоритмы повышения транспортно-эксплуатационных качеств лесных автомобильных дорог в процессе проектирования, строительства и эксплуатации : монография / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова и др. – М.: издательство ФЛИНТА: Наука, 2012. – 310 с.
2. Скрыпников, А.В. Комплексное моделирование процесса функционирования дороги в системе автоматизированного проектирования / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова // Транспорт Урала. – 2008. – № 4. – С. 6–9.
3. Управление, основанное на средних характеристиках транспортного потока / В.К. Курьянов, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова, А.В. Скрыпников // Перспективные технологии, транспортные средства и оборудование при производстве, эксплуатации, сервисе и ремонте: межвузовский сборник научных трудов. – Воронеж, 2007. – С. 204–209.
4. Камусин, А.А. Лесовозные автопоезда: учебное пособие для вузов / А.А. Камусин, А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова. – М.: МГУЛ, 2012 – 268 с.

5. Имитационное моделирование транспортного потока для оценки транспортно-эксплуатационных характеристик лесовозных автомобильных дорог / Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова, А.В. Скрыпников, Д.Ю. Сухов // Системы управления и информационные технологии. – Воронеж, 2008. – № 3.2 (33). – С. 276–278.
6. Кондрашова, Е.В. Оценка влияния эксплуатационных условий лесовозных автопоездов на безопасность их движения в САПР / Е.В. Кондрашова, А.В. Скрыпников, В.К. Курьянов // Лес. Наука. Молодежь ВГЛТА – 2002: сб. материалов по итогам научно-исследовательской работы молодых ученых Воронежской государственной лесотехнической академии за 2001–2002 годы. – Воронеж: ВГЛТА. – Воронеж, 2002. – С. 175–181.
7. Скрыпников, А.В. Комплексное моделирование процесса функционирования автомобильных лесовозных дорог в САПР / А.В. Скрыпников, В.К. Курьянов, Е.В. Кондрашова. – Деп. в ВИНТИ № 1088-B2004 24.06.2004. – 73 с.
8. Информационные технологии для решения задач управления в условиях рационального лесопользования : монография / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова и др. – Воронеж, 2011. – 127 с. – Деп. в ВИНТИ 26.09.2011, №420-2011.
9. Курьянов, В.К. Повышение эффективности обследования автомобильных дорог в районах лесозаготовок / В.К. Курьянов, Е.В. Кондрашова, Ю.В. Любанов. – М.: Изд-во РАЕ, 2010. – 130 с.
10. К вопросу повышения безопасности движения на лесовозных автомобильных дорогах и дорогах общего пользования : монография / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, В.Ю. Губарев, А.Б. Киреев. – М.: Издательство ФЛИНТА: Наука, 2012. – 168 с.
11. Скрыпников, А.В. Метод оптимизации планов ремонта участков лесных автомобильных дорог / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 6; www.science-education.ru/100-5155 .
12. Скрыпников, А.В. Оптимизация межремонтных сроков лесовозных автомобильных дорог / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 8 (ч. 3). – С. 667–671.

SIMULATION MODELING OF HAULING ROAD FUNCTION

Nikitin V.V., Assoc. Prof. MSFU, Ph.D. (Tech.)⁽¹⁾; Kozlov V.G., Assoc. Prof. «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I», Ph.D. (Tech.)⁽²⁾; Harutyunyan A.Y., pg. Ukhta State Technical University⁽³⁾; Umarov M.M., pg. MSFU⁽¹⁾

nick@mgul.ac.ru, rivelenasoul@mail.ru, info@ugtu.net

⁽¹⁾ Moscow State Forest University, MSFU, 1, 1st Institutskaya st., Mytishi-5, Moscow reg., 141005, Russia

⁽²⁾ «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I», 394087, Voronezh, Michurina st., 1, Russia

⁽³⁾ Ukhta State Technical University, 169300, 13, Pervomayskaya St., Ukhta, Republic of Komi, Russia

All the problems connected to traffic management system, gradually solved by theoretical analysis and field experiments, when considering large-scale transport systems is not always easy to offer a sufficiently precise theory or spend their adequate scale experimental studies. Therefore, it is necessary to compensate for the lack of funds for research through the use of non-mathematical models. The article describes the technique of hauling highway operation computer simulating. To carry out simulation the following data needed: individual trains parameters, such as speed, size and type of train, the maximum acceleration; general characteristics of overtaking; road characteristics: lanes number, speed limit, entrances and exits location e.c. Possible options for the occurrence of various situations on hauling roads, which are composed motion model train: a model of free movement: trailer with no obstacles in the movement area of some length; trailer, follow the leader; truck, changing lanes; trailer, maneuver the merger.

Keywords: Logging road, simulation, truck, traffic, road operation.

References

1. Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V., Vakulin A.I., Logachev V.N. *Metody, modeli i algoritmy povysheniya transportno-ekspluatatsionnykh kachestv lesnykh avtomobil'nykh dorog v protsesse proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii*. [Methods, models and algorithms improve transport and performance of forest roads in the design, construction and operation]. Moscow: FLINTA: Nauka, 2012. 310 p.
2. Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V. *Kompleksnoe modelirovanie protsessa funktsionirovaniya dorogi v sisteme avtomatizirovannogo proektirovaniya* [Complex modeling of road operation in the computer-aided design]. Transport Urala, 2008. № 4. pp. 6-9.
3. Kur'yanov V.K., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V., Skrypnikov A.V. *Upravlenie, osnovannoe na srednikh kharakteristikakh transportnogo potoka* [Management, based on the average characteristics of the traffic flow]. Perspektivnye tekhnologii, transportnye sredstva i oborudovanie pri proizvodstve, ekspluatatsii, servise i remonte: mezhevuzovskiy sbornik nauchnykh trudov [Advanced technologies, vehicles and equipment in the production, operation, service and repair: Interuniversity collection of scientific papers]. Voronezh, 2007. pp. 204-209.
4. Kamusin A.A., Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V. *Lesovoznye avtopoezda* [Forestry train]. Moscow: MSFU, 2012. 268 p.
5. Kondrashova E.V., Skvortsova T.V., Skrypnikov A.V., Sukhov D.Yu. *Imitatsionnoe modelirovanie transportnogo potoka dlya otsenki transportno-ekspluatatsionnykh kharakteristik lesovoznykh avtomobilnykh dorog* [Simulation of traffic flow to assess the performance of transport and haulage roads]. Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii. 2008. N. 3.2 (33). pp. 276-278.
6. Kondrashova E.V., Skrypnikov A.V., Kur'yanov V.K. *Otsenka vliyaniya ekspluatatsionnykh usloviy lesovoznykh avtopoezdov na bezopasnost' ikh dvizheniya v SAPR* [Assessing the impact of the operating conditions of forest-aw topoezdov the safety of their movement in the CAD]. Les. Nauka. Molodezh' VGLTA - 2002: sb. materialov po itogam nauch-no-issledovatel'skoy raboty molodykh uchenykh VGLTA 2001-2002. Voronezh: VGLTA. Voronezh, 2002. pp. 175-181.
7. Skrypnikov A.V., Kur'yanov V.K., Kondrashova E.V. *Kompleksnoe modelirovanie protsessa funktsionirovaniya avtomobil'nykh lesovoznykh dorog v SAPR* [Kompleksnoe Simulation of the operation of automobile forest roads in the CAD]. VINITI № 1088-V2004 24.06.2004. 73 p.
8. Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V., Vakulin A.I., Logachev V.N. *Informatsionnye tekhnologii dlya resheniya zadach upravleniya v usloviyakh ratsional'nogo lesopol'zovaniya* [Information technology solutions for control tasks in a rational forest management]. Voronezh, 2011. 127 p. VINITI 26.09.2011, №420-2011.
9. Kur'yanov V.K., Kondrashova E.V., Lobanov Yu.V. *Povyshenie effektivnosti obsledovaniya avtomobilnykh dorog v rayonah lesozagotovok* [Improving the efficiency of roads in the survey logging areas]. Moscow: FLINTA Nauka Publ., 2010. 162 p.
10. Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Gubarev V.Yu., Kireev A.B. *K voprosu povysheniya bezopasnosti dvizheniya na lesovoznykh avtomobil'nykh dorog i dorogakh obshchego pol'zovaniya* [On the question of increasing traffic safety on the car-tion of forest roads and public roads]. Moscow: FLINTA: Nauka, 2012. 168 p.
11. Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V. *Metod optimizatsii planov remonta uchastkov lesnykh avtomobilnykh dorog* [Optimization method of repairing portions of forest roads planning]. Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2011. N. 6. www.science-education.ru/100-5155 (data obrascheniya: 04.10.2015).
12. Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V. *Optimizatsiya mezhremontnykh srokov lesovoznykh avtomobilnykh dorog* [Optimization of maintenance periods of forest roads]. Fundamentalnyye issledovaniya [Basic Research]. 2011. N. 8 (ch. 3). pp. 667-671.

УДК 630.91

МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГУСЕНИЦЫ ТРАКТОРА С ГРУНТОМ

А.Ф. АЛЯБЬЕВ, *проф. МГУЛ, д-р техн. наук*⁽¹⁾,
С.Ю. КАЛИНИН, *ст. препод. МГУЛ*⁽¹⁾

alyabievaf@rambler.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1

Решена плоская задача взаимодействия трака гусеницы трактора с грунтом. Рассматривался трак с углом между грунтозацепом и подошвой трака равным 90° . В качестве инструмента построения модели использованы методы статики сыпучей среды. Построена область предельного равновесия грунта и определены условия буксования трактора. В результате установлено, что область предельного равновесия состоит из двух областей, граница между которыми образует линию разрыва, вблизи которой равновесие сохраняется, но нет полной непрерывности напряжений. Форма области предельного равновесия определяется свойствами грунта и свойствами материала трака: углом внутреннего трения и углом трения грунта о трак. Размер области предельного равновесия определяется размером грунтозацепа. Форма и размер области предельного равновесия не зависят от сцепления грунта и силы тяги. Если область предельного равновесия выходит за габариты подошвы трака (высота грунтозацепа велика), то трактор будет буксовать («закапываться») при любом тяговом усилии, при котором возникает область предельного равновесия. Если область предельного равновесия не выходит за габариты подошвы трака, то трактор будет буксовать при превышении нормальной составляющей нагрузки, уравнивающей тяговое усилие трактора, веса трактора, приходящегося на подошву трака (то есть будет происходить выклинивание области предельного равновесия). Модель позволяет определить соотношение между высотой грунтозацепа и длиной подошвы трака для различных грунтов, коэффициент сцепления трака и, с учетом линейной деформируемости грунта, коэффициент сцепления трактора. Приведен пример расчета коэффициента сцепления трактора Б10М при работе на суглинке. Полученные значения соответствуют реальным.

Ключевые слова: гусеничный движитель, трак, геометрические параметры грунтозацепов, грунт, сила тяги по сцеплению.

На тягово-сцепные качества трактора большее влияние оказывают параметры гусеницы [1–3]. Есть мнение, что каждому типу грунта и высоте грунтозацепов соответствует определенный шаг гусеницы, позволяющий получить максимальный коэффициент сцепления [4]. Построим модель взаимодействия гусеницы трактора с грунтом, используя методы статики сыпучей среды, и определим коэффициент сцепления трактора. Методы статики сыпучей среды используются для расчета фундаментов, устойчивости откосов, подпорных стенок [5], расчета сил сопротивления при резании грунта землеройными и почвообрабатывающими орудиями [6–8], при исследованиях разрушения грунта траками гусеничных машин [9, 10].

Рассмотрим плоское предельное равновесие грунта при его взаимодействии с траком гусеницы. Предельно допустимые касательные напряжения на площадке скольжения определяются по закону Кулона. Процесс заглубления грунтозацепа в грунт мы не рассматриваем. Массу грунта не учитываем. Будем использовать положения механики грунтов [11, 12], а именно, «принцип линейной деформируемос-

ти» (при изменении внешних давлений порядка 0,3–0,5 МПа, а для плотных и твердых грунтов и до 0,5–0,7 МПа их можно рассматривать как линейно деформируемые тела) и линейную связь между внешним давлением (в указанных пределах) и осадкой. Угол между грунтозацепом и подошвой трака гусеницы равен 90° , распределение нагрузки на траки гусеницы от веса трактора равномерное.

При взаимодействии трака гусеницы с грунтом на грунт действуют силы (рис. 1):

– со стороны грунтозацепа OA распределенное нормальное к грунтозацепу давле-

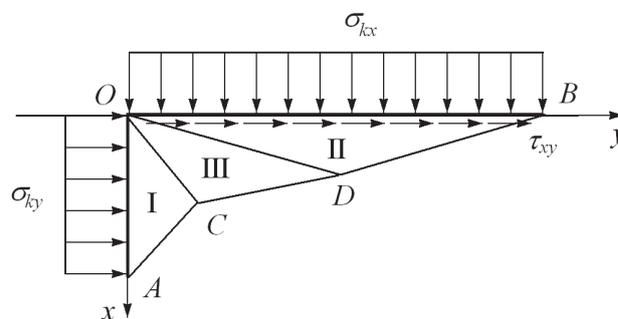


Рис. 1. Схема взаимодействия трака гусеницы с грунтом

Fig. 1. Scheme of the interaction with the ground caterpillar truck

ние σ_{ky} , определяющее часть тягового усилия трактора;

– со стороны подошвы OB трака распределенное нормальное к подошве трака давление σ_{kx} , соответствующее части веса трактора, и распределенная касательная к подошве трака нагрузка τ_{xy} , соответствующая трению, возникающему при движении грунта по траку.

При взаимодействии трака гусеницы с грунтом может образовываться область предельного равновесия (рис. 1). Рассмотрим две гипотезы буксования трактора.

Гипотеза 1. При увеличении тягового усилия увеличивается уравнивающая тяговое усилие нагрузка на подошву трака гусеницы. При буксовании трактора предельное равновесие нарушается. Это происходит при превышении нормальной составляющей нагрузки, уравнивающей тяговое усилие трактора, веса трактора, приходящегося на подошву трака (выклинивания).

Гипотеза 2. При увеличении тягового усилия область предельного равновесия увеличивается [9] и выходит за габариты подошвы трака.

Для проверки гипотез построим область предельного равновесия и определим действующие нагрузки при равенстве уравнивающей тяговое усилие нагрузки на грузке от части веса трактора.

Выделим область предельного равновесия AOB (рис. 2) и определим граничные условия.

Нормальные и касательные компоненты приведенного давления p вдоль положи-

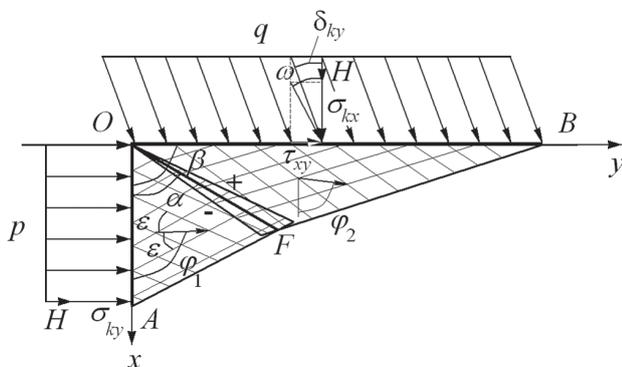


Рис. 2. Область предельного равновесия
Fig. 2. Scope of the limit equilibrium

тельного направления оси OX по линии AO выражены как

$$p = p_n = \sigma_{ky} + H, p = \text{const}, \quad (1)$$

$$p_\tau = 0, \delta_{kx} = 0$$

где H – временное сопротивление всестороннему равномерному растяжению:

$$H = C \cdot \text{tg} \rho;$$

ρ – угол внутреннего трения грунта;

C – сцепление грунта;

p – приведенное давление;

p_n – нормальная составляющая приведенного давления p ;

p_τ – касательная составляющая приведенного давления p ;

δ_{kx} – угол между нормалью к грунтозацепу и приведенным давлением p .

Нормальные и касательные компоненты приведенного давления q вдоль положительного направления оси OY по линии OB выражены как

$$q_n = \sigma_{kx} + H, q_\tau = \sigma_{kx} \cdot \text{tg} \omega,$$

$$\delta_{ky} = \text{arctg} \frac{q_\tau}{q_n}, q = \frac{q_n}{\cos \delta_{ky}}, \quad (2)$$

$$|\omega| < \rho; |\delta_{ky}| < \rho$$

где ω – угол трения грунта о поверхность трака;

q_n – нормальная составляющая приведенного давления q ;

q_τ – касательная составляющая приведенного давления q ;

δ_{ky} – угол между нормалью к подошве трака и приведенным давлением q .

Так как грунтозацеп и подошва трака жестко связаны, то при увеличении тягового усилия грунт уплотняется и движется относительно подошвы трака в направлении грунтозацепа, так что $\omega < 0$.

Как видно из (1) и (2), p , q и их первые производные непрерывны.

Нарушение предельного равновесия приводит к «выпиранию» вдоль положительного направления оси OY и к «оседанию» массива грунта вдоль положительного направления оси OX . Таким образом, вдоль положительной полуоси OX при $\kappa = +1$ и $\delta_{kx} = 0$ нужно принять [5]

$$\sigma_1 = \frac{p}{1 + \sin \rho}, \varphi_1 = \frac{\pi}{2}. \quad (3)$$

где σ_1 – среднее приведенное нормальное напряжение;

φ_1 – угол между направлением σ_{max} и осью OX вдоль положительной полуоси OX ;

σ_{max} – главный компонент напряжения в рассматриваемой точке.

Вдоль положительного направления оси OY при $\kappa = +1$, $\omega < 0$ и значением угла между грунтозацепом и подошвой трака $\beta = \pi/2$ нужно принять [5]

$$q = \sigma_2 \frac{\sin(\Omega - \omega)}{\sin \Omega}, \varphi_2 = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} (|\Omega| - |\omega|), \quad (4)$$

где φ_2 – угол между направлением σ_{max} и осью OX вдоль положительной полуоси OY ;

σ_2 – среднее приведенное нормальное напряжение;

$$\sin \Omega = \frac{\sin \omega}{\sin \rho}, |\Omega| < \frac{\pi}{2}.$$

Итак, мы сформулировали граничные условия для нашей задачи.

Семейство характеристик, которые являются линиями скольжения, для невесомой среды описывается уравнениями статики сыпучей среды

$$\begin{cases} dy = dx \cdot \operatorname{tg}(\varphi \mp \varepsilon) \\ d\sigma \mp 2\sigma \cdot \operatorname{tg} \rho d\varphi = 0 \end{cases} \quad (5)$$

где $\pm \varepsilon$ – углы наклона линий скольжения к направлению σ_{max} ,

$$\varepsilon = \frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2}.$$

Будем рассматривать область предельного равновесия, состоящую из трех областей. Так же, как в задаче Прандтля [13], на плоскости xu мы строим два треугольника: треугольник AOC (область I), примыкающий к грунтозацепу, и треугольник BOD (область II), примыкающий к подошве трака, и соединяющий их сектор COD (область III) (рис. 1). При равномерном распределении приведенного нормального давления $p = const$ задача упрощается [5]. Для невесомой среды в области I и области II на плоскости xu сетку линий скольжения образуют два семейства параллельных прямых, а в области III одно семейство – прямые, проходящие через точку O , а другое – логарифмические спирали.

Однако возможен вариант, когда область III вырождается, а область I и область II «наползают» друг на друга (рис. 2). В этом случае в области предельного равновесия образуются линии разрыва [5], вблизи которых равновесие сохраняется, но нет полной непрерывности напряжений

$$\sigma_{n+} = \sigma_{n-}, \tau_{n+} = \tau_{n-}, \sigma_+ \neq \sigma_-,$$

или иначе

$$p_+ = p_-, \delta_+ = \delta_-,$$

где знаками «+» и «-» отмечены разные стороны от линии разрыва;

σ_n – нормальное к линии разрыва приведенное напряжение

τ_n – касательное к линии разрыва приведенное напряжение;

σ – среднеприведенное напряжение вблизи линии разрыва;

p – приведенное напряжение вблизи линии разрыва;

δ – угол между линией разрыва и приведенным напряжением вблизи линии разрыва.

Линия разрыва будет образовываться, если $\varphi_1 > \varphi_2$.

Из (3) и (4) следует, что

$$\varphi_1 = \frac{\pi}{2} > \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} (|\Omega| - |\omega|) = \varphi_2,$$

т. е. в области предельного равновесия будет образовываться линия разрыва. Из условий разрыва [5]

$$\begin{cases} \varphi_- = \alpha + \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} (\Delta + \delta) + m\pi \\ \varphi_+ = \alpha + \frac{1}{2} (\Delta - \delta) + m\pi \end{cases},$$

$$\frac{\sigma_+}{\sigma_-} = \frac{\sin(\Delta + \delta)}{\sin(\Delta - \delta)},$$

где α – угол наклона линии разрыва к оси OX ,

$$\sin \Delta = \frac{\sin \delta}{\sin \rho}, |\Delta| < \frac{\pi}{2},$$

следует, что вдоль линии разрыва

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{1}{2} (\Delta + \delta), \\ \sigma_+ &= \frac{p \sin(\Delta + \delta)}{1 + \sin \rho \sin(\Delta - \delta)}, \varphi_+ = \Delta. \end{aligned} \quad (6)$$

В области OBF (рис. 2)

$$\sigma_2 = \sigma_+, \varphi_2 = \varphi_+.$$

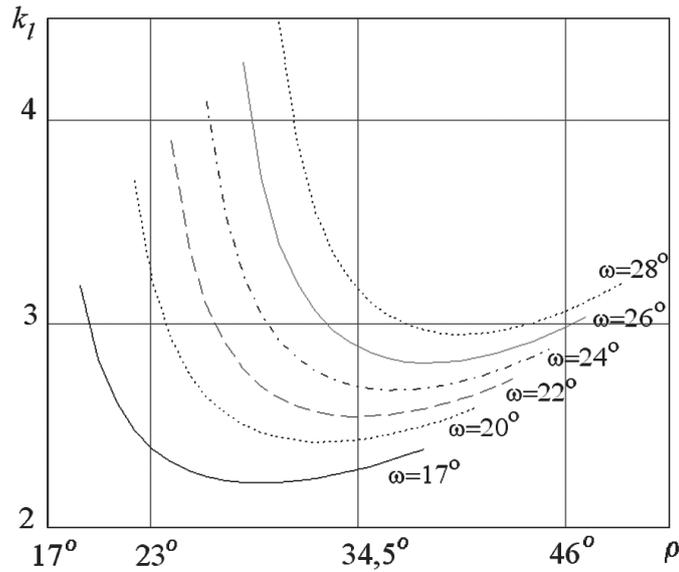


Рис. 3. Зависимость размера трака от свойств грунта
 Fig. 3. The size dependence of the truck on the soil properties

Из соотношений (4) и (6) получим, что вдоль положительной полуоси OY

$$q = \frac{p \sin(\Delta + \delta) \sin(\Omega - \omega)}{1 + \sin \rho \sin(\Delta - \delta) \sin \Omega}, \quad (7)$$

$$\Delta = \varphi_2 = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2}(|\Omega| - |\omega|).$$

Таким образом, зная свойства грунта, размеры трака, мы можем построить область предельного равновесия (рис.2)

$$l = h \frac{1 + \operatorname{ctg}(\alpha) \operatorname{ctg}\left(\varepsilon - \left(\frac{\pi}{2} - \varphi_2\right)\right)}{\operatorname{ctg}(\alpha) + \operatorname{ctg}\left(\frac{\pi}{2} - \varepsilon\right)}, \quad (8)$$

где l – длина области предельного равновесия вдоль подошвы трака (положительной полуоси OX);

h – высота грунтозацепа (вдоль положительной полуоси OY).

Из соотношений (3–8) видно, что форма области предельного равновесия определяется свойствами грунта и свойствами материала трака: углом внутреннего трения ρ и углом трения грунта о трак ω . Размер области предельного равновесия определяется размером грунтозацепа. Форма и размер области предельного равновесия не зависят от сцепления грунта C и силы тяги.

Таким образом, вторая гипотеза отвергается. Для конкретных почвенных условий и размеров трака форма и размер области предельного равновесия не изменяется при изменении тягового усилия. Если область предельного равновесия выходит за габариты подошвы трака, то трактор будет буксовать («закапываться») при любом тяговом усилии, при котором возникает область предельного равновесия. На рис. 3 приведены зависимости отношения длины подошвы трака к высоте грунтозацепа k_l от свойств грунта.

Распределенное нормальное к подошве трака давление σ_{kx} определим по формуле [5]

$$\sigma_{kx} = \sigma_2 (1 + \sin \rho \cdot \cos 2\varphi_2) - H.$$

Необходимо отметить, что давление от грунтозацепа на подошву трака будет передаваться при $\sigma_{kx} > 0$, или

$$\sigma_{ky} > \sigma_{ky \min} = H \left(\frac{1 + \sin \rho}{1 + \sin \rho \cdot \cos(2\varphi_2)} \frac{\sin(\varphi_2 - \delta)}{\sin(\varphi_2 + \delta)} - 1 \right).$$

Построенная модель позволяет определить коэффициент сцепления трактора в зависимости от характеристики трактора и свойств грунта.

Тяговое усилие P , развиваемое на траке, будет равно сумме сил, действующих на грунтозацеп, и силы трения подошвы трака о почву

$$P = bh\sigma_{ky} + blq_{\tau}.$$

Касательную составляющую q_{τ} приведенного давления q определим из соотношения (2). Буксование начнется, когда $\sigma_{kx} lb$ будет больше части веса трактора Q , приходящегося на трак

$$bl\sigma_{kx} > Q.$$

Зная вес Q , приходящийся на трак, свойства грунта и размер трака, мы можем найти коэффициент сцепления трака k_p

$$k_p = \frac{P}{Q} = \frac{h\sigma_{ky} + l\sigma_{kx} \operatorname{tg} \omega}{l\sigma_{kx}}.$$

Зная коэффициент сцепления трака, определим коэффициент сцепления трактора. Рассмотрим трак. В начальный момент после внедрения грунтозацепа в грунт на переднем траке нормальное к грунтозацепу давление σ_{ky} близко к нулю. При движении трактора нормальное к грунтозацепу давление σ_{ky} линейно растет и достигает максимума в момент перед выглублением трака из грунта [9]. Буксование трактора начнется с нарушения предельного равновесия на последнем траке (по ходу движения). В силу линейной деформируемости грунта коэффициент сцепления трактора, при котором не будет нарушения предельного равновесия грунта, равен

$$k = \frac{1}{2} k_p.$$

В качестве примера определим коэффициент сцепления трактора Б10М со следующими характеристиками: масса 20 т, опорная длина гусениц 3,2 м, ширина гусеницы 0,5 м, шаг и высота грунтозацепов 0,203 м и 0,065 м; при работе на грунте $C = 1,167$ даН/см², $\rho = 23^\circ$, $\omega = 17^\circ$ рад [6, 7]. Для указанных условий коэффициент сцепления трактора $k = 0,946$, при этом $\sigma_{kx} = 0,778$ даН/см², $\sigma_{ky} = 3,044$ даН/см², $\sigma_{ky \min} = 1,768$ даН/см², т. е., соблюдены ограничения: грунт можно считать линейно деформируемым, и при взаимодействии трака с почвой образуется область предельного равновесия.

Выводы

1. Форма области предельного равновесия определяется свойствами грунта

и свойствами материала трака: углом внутреннего трения ρ и углом трения трака о грунт ω .

2. Размер области предельного равновесия определяется размером грунтозацепа h .

3. Форма и размер области предельного равновесия не зависят от сцепления грунта C и силы тяги.

4. Предложенная модель взаимодействия гусеницы трактора с грунтом позволяет определять коэффициент сцепления трактора в зависимости от характеристики трактора и свойств грунта.

Библиографический список

1. Васильев, А.В. Влияние конструктивных параметров гусеничного трактора на его тягово-сцепные свойства / А.В. Васильев, Е.Н. Докучаева, О.И. Уткан-Любовцев. – М.: Машиностроение, 1969. – 191 с.
2. Боровских, А.М. Разработка новых и совершенствование существующих конструкций узлов гусеничных движителей для лесных машин / А.М. Боровских // Монография – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2007. – 269 с.
3. Пинигин, Б.Н. Теория трактора. Исследование свойств гусеничных движителей / Б.Н. Пинигин – Челябинск, ЧПИ, 1985. – 93 с.
4. Ляско, М.И. Влияние шага и высоты грунтозацепов на величину коэффициента сцепления гусеничного трактора / М.И. Ляско, Н.И. Зайдельман, В.О. Слажинский // Труды МАДИ.– М., 1976. – Вып. 114. – С. 115–119
5. Соколовский, В.В. Статика сыпучей среды / В.В. Соколовский. – М.: Наука, 1990. – 272 с.
6. Алябьев, А.Ф. Обоснование технологических комплексов машин для лесовосстановления : монография / А.Ф. Алябьев. – М.: МГУЛ, 2010. – 265 с.
7. Бахтин, П.У. Технологические свойства почв : монография / П.У. Бахтин, В.Н. Винокуров, А.Ф. Алябьев. – М.: МГУЛ, 2014. – 168 с.
8. Ветров, Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами / Ю.А. Ветров. – М.: Машиностроение, 1971. – 357 с.
9. Берестов, Е.И. Исследование разрушения грунта траками гусеничных машин / Е.И. Берестов, А.В. Кулабухов, О.Е. Печковская // Механизация строительства. – 2014. – № 10. – с. 21–25. – <http://ms.enjournal.net/article/10322/>
10. Берестов, Е.И. Об особенностях работы гусеничных движителей землеройно-транспортных машин / Е.И. Берестов, А.В. Кулабухов, И.В. Лесковец // Механизация строительства. – 2009.– № 10. – С. 15–18.
11. Маслов, Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов / Н.Н. Маслов. – М.: Высш. школа, 1982. – 511 с.
12. Цитович, Н.А. Механика грунтов (краткий курс) / Н.А. Цитович. – М.: Высш. школа, 1983. – 288 с.
13. Работнов, Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела / Ю.Н. Работнов. – М.: Наука, 1988. – 712 с.

THE INTERACTION MODEL OF THE CATERPILLAR TRACTOR WITH THE GROUND

Alyabiev A.F., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾; Kalinin S.Yu., senior lecturer MSFU⁽¹⁾

alyabievaf@rambler.ru

⁽¹⁾Moscow State Forest University (MSFU), 1-st Institutskaya st., 1, 141005, Mytishi, Moskow reg., Russia

Solved a plane problem of interaction of the caterpillar truck tractor with the ground. Considered the truck with the angle between the lug and the sole of the track is 90° . As a tool for building models used methods of statics of granular media. Built area of limit equilibrium of the soil and the conditions of slipping of the tractor. The results showed that the area of limit equilibrium consists of two regions, the boundary between them forms a break line, near which the equilibrium is preserved, but no complete continuity of stresses. The shape of the area limiting equilibrium is determined by the properties of the soil and material properties of the track: the angle of internal friction and angle of friction of soil on the truck. The size of the area of limit equilibrium is determined by the size of the lug. The shape and size of the area of limit equilibrium do not depend on the coupling of soil and traction. If the limit equilibrium is beyond the dimensions of the base of the track (lug height is large), the tractor will be stuck ("dig") when any pulling force, which occurs when the area of limit equilibrium. If the area of limit equilibrium does not exceed the dimensions of the base of the truck, the tractor will slip in excess of the normal component of the load, balancing the tractive effort of the tractor, tractor weight per foot of track (i.e. there will be a thinning of the area of limit equilibrium). The model allows to determine the ratio between the height of the lug and long track soles for different soils, the coefficient of adhesion of the track and, given the linear deformability of the soil, the coefficient of adhesion of the tractor. The example of calculation of the coefficient of adhesion of the tractor B10M on loam. The values obtained correspond to the real.

Keywords: caterpillar tracks, track, geometrical parameters lugs, ground, thrust linkage.

References

1. Vasil'ev A.V., Dokuchaeva E.N., Utkan-Lyubovcev O.I. *Vliyanie konstruktivnykh parametrov gusenichnogo traktora na ego tyagovo-scepnnye svoystva* [The influence of design parameters of the crawler tractor on its traction characteristics]. Moscow: Mashinostroenie, 1969. 191 p.
2. Borovskih A.M. *Razrabotka novykh i sovershenstvovanie sushchestvuyushih konstrukciy uzlov gusenichnykh dviziteley dlya lesnykh mashin: monografiya* [Development of new and improvement of existing designs of knots caterpillar mover for forestry machines]. Ekaterinburg: Ural state forest engineering University, 2007. 269 p.
3. Pinigin B.N. *Teoriya traktora. Issledovanie svoystv gusenichnykh dviziteley* [The theory of the tractor. The study of the properties of caterpillar mover]. Chelyabinsk: Chelyabinsk Polytechnic Institute, 1895. 93 p.
4. Lyasko M.I., Zaydelman N.I., Slazinskiy V.O. *Vliyanie shaga i vysoty gruntozacepov na velichinu koeffitsienta scepheniya gusenichnogo traktora* [The effect of pitch and height of the grousers on the value of the coefficient of friction crawler tractor]. Tr. MAD: V. 114 [Proceedings of the Moscow automobile road Institute: issue 114]. Moscow, 1976. pp. 115-119.
5. Sokolovskiy V.V. *Statika sypuchey sredy* [Statics of granular media] Moscow, 1990. 272 p.
6. Alyab'ev A.F. *Obosnovanie tekhnologicheskikh kompleksov mashin dlya lesovosstanovleniya: monografiya* [Substantiation of technological machines for reforestation: monograph]. Moscow: MSFU, 2010. 265 p.
7. Bahtin P.U., Vinokurov V.N., Alyab'ev A.F. *Tekhnologicheskie svoystva pochv* [Technological properties of soil]. Moscow: MSFU, 2014. 168 p.
8. Vetrov Yu.A. *Rezanie gruntov zemleroynymi mashinami* [The cutting of soil by digging machines]. Moscow: Mashinostroenie, 1971. 357 p.
9. Berestov E.I., Kulabuhov A.V., Pechkovskaya O.E. *Issledovanie razrusheniya grunta trakami gusenichnykh mashin* [Study destruction of a ground caterpillar machines]. *Mehanizatsiya stroitelstva*, 2014. № 10. pp 21–25
10. Berestov E.I., Kulabuhov A.V., Leskovets I.V. *Ob osobennostyah raboty gusenichnykh dviziteley zemleroyno-transportnykh mashin* [Some features of caterpillar drives Earthmoving machinery]. *Mehanizatsiya stroitelstva*, 2009. № 10. pp 15-18.
11. Maslov N.N. *Osnovy inzhenernoy geologii i mehaniki gruntov* [Fundamentals of engineering Geology and soil mechanics]. Moscow: Vysshaya shkola, 1982. 511 p.
12. Tsitovich N.A. *Mehanika gruntov (kratkiy kurs)* [Soil mechanics (short course)] Moscow: Vysshaya shkola, 1983. 288 p.
13. Pabotnov Yu. N. *Mehanika deformiruemogo tverdogo tela* [Mechanics of deformable solids]. Moscow: Nauka, 1988. 712 p.

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ОДНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ИГРЫ КАЧЕСТВА

А.Ю. ГАЛАКТИОНОВ, доц. МГУЛ, канд. техн. наук⁽¹⁾

galakau@mail.ru

⁽¹⁾ФГБОУ ВО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1

Задача об избегании столкновения двух точечных объектов с противоположными интересами на геометрической плоскости рассматривалась как трехмерная дифференциальная игра качества. В качестве фазовых координат выбраны скорость уклоняющегося игрока и геометрические координаты максимизирующего игрока. Подвижная система координат связана с минимизирующим игроком, а одна из ее осей направлена параллельно радиусу кривизны уклоняющегося игрока. Минимизирующий игрок обладает простым движением. На кривизну траектории максимизирующего игрока наложены ограничения. В качестве терминальной поверхности принят цилиндр единичного радиуса. Согласно идеологии, предложенной Р.Айзексом, в процессе построения барьера как численное решение системы обыкновенных дифференциальных уравнений получены предельные значения сил для уклоняющегося игрока, позволяющие избежать столкновения. Построение поверхности барьера осуществлялось в результате численных параметрических расчетов. Для контроля точности результатов были использованы методы Эйлера и Рунге-Кутты. Обобщение и анализ аппроксимирующих соотношений для предельных коэффициентов сил, действующих на максимизирующего игрока, позволили установить показатель эффективности маневренных возможностей соответствующего игрока, что необходимо при подготовке критериев синтеза маневрирующей технической системы. Настоящее исследование в части систематологии является развитием идей Н.Е. Жуковского и Л.А. Петоросьяна. Достоверность полученных результатов подтверждена сходимостью по времени и расчетной сетки, а также сравнением с известными теоретическими зависимостями.

Ключевые слова: дифференциальная игра качества, численный метод, оптимальное уклонение, показатель оптимального маневрирования.

С момента появления монографии Дж. фон Неймана и О. Моргенштерна [1] последовал период бурного развития предложенной ими теории: публикации статей, организация научных обществ и НИР, связанных с решением игр на минимум, преследующих цель получить математически обоснованные способы решения конфликтных ситуаций. Однако ожидаемой революции в отраслях потребителях (военной, экономической и т. д.) не последовало [2], что позволяет сказать о наличии у упомянутых потребителей ряда важных проблем и, в первую очередь, отсутствие необходимых систем показателей эффективности (иерархий целей и задач с количественными показателями эффективности, согласно [3]).

В то же время, при создании различных технических изделий, процесс функционирования которых может быть описан дифференциальными уравнениями (например аэрокосмические системы), в качестве показателей эффективности часто используются соотношения, полученные из так называемых игр с одним игроком, что осложняет разра-

ботку изделий, предназначенных для функционирования в условиях конфликта. Достаточно упомянуть работу [4], где в качестве критерия оптимальности формы поверхности ЛА используется только аэродинамическое качество, предполагая планирующий полет ЛА, согласно предложению Н.Е. Жуковского в начале XX в. [5]. Таким образом, получение математически обоснованных показателей эффективности технических изделий, предназначенных для функционирования в условиях конфликта, является важной и актуальной проблемой.

В настоящей работе предлагается подход к получению упомянутых показателей эффективности, основанный на численном решении дифференциальной игры качества (схематизированного конфликта двух игроков с нулевой суммой, когда развитие ситуации во времени может быть описано системой обыкновенных дифференциальных уравнений). Основой теории дифференциальных игр принято считать монографию Р. Айзекса [2], опубликованную в 1965 г. в США. Учитывая, что основные результаты в работе [2] были

получены в аналитической форме, предлагаем численное решение дифференциальной игры качества (принципиальная возможность победы одного из двух игроков) решение на ЭВМ, используя метод последовательных приближений, рекомендованный в работе [5] для задач такого типа, как разновидности вариационного исчисления.

Целью настоящей работы стало получение соотношения между компонентами силы, действующей на уклоняющегося от столкновения игрока в естественной (траекторной) системе координат (нормальной и тангенциальной). Предполагается, что такое соотношение является некоторой мерой маневренных способностей одного из игроков и, тем самым, могло быть использовано как показатель эффективности при синтезе соответствующей системы, предназначенной для работы в условиях конфликта [4–6].

В качестве примера в настоящей работе рассматривается дифференциальная игра, аналогичная игре «шофер-убийца» [2]. В отличие от игры, предложенной Р. Айзексом, здесь рассматривается модель конфликта на геометрической плоскости между «медленным, но маневренным пешеходом (игрок P – Pursuer) со скоростью w_1 (с возможностью мгновенного изменения ориентации вектора скорости при постоянстве его модуля), стремящимся попасть под машину (попытка суицида)» и «быстрым автомобилем (со скоростью $w_2 > w_1 = 1$), стремящимся избежать столкновения (игрок E – Evader)». На величину радиуса кривизны игрока E наложены ограничения ($R_{\min} < R$). В процессе движения на игрока E действуют: нормальная к траектории сила (N), величиной которой игрок E может управлять, и тангенциальная (тормозящая) сила (T), величиной которой игрок E управлять не может. Отмеченные силы пропорциональны квадрату скорости игрока E (безразмерные коэффициенты сил C_T и C_N). Игра заканчивается захватом (победой игрока P), если расстояние между точками PE становится менее заданного ($PE < l$), внешнюю границу области захват с радиусом l назовем терминальной поверхностью. Величина упомянутого радиуса была принята за единицу (единичный масштаб дли-

ны: $l = 1$); величина скорости пешехода-перехватчика принималась единичной (единичный масштаб скорости: $w_1 = 1$).

Для достижения указанной цели в настоящей работе была выполнена следующая декомпозиция упомянутой задачи перехвата:

1. Схематизация конфликта, позволяющая формализовать задачу об избегании столкновения и применить численный метод последовательных приближений [4].

2. Проведение параметрических исследований на ЭВМ, позволяющих установить соотношение между коэффициентами C_T и C_N для различного соотношения скоростей (w_2/w_1), используя понятие барьера, предложенное Р. Айзексом [2], которое могло бы использоваться как показатель эффективности, в дальнейшем при синтезе соответствующих систем. Количественно оценить динамику изменения барьера (сингулярной поверхности в трехмерном пространстве фазовых координат: x, y, w_2) при изменении отмеченных коэффициентов сил.

3. Проверить достоверность полученных результатов, сравнив с известными аналитическими (тестовыми) решениями и рассмотрев вопросы сходимости по шагу интегрирования и по шагу дискретного изменения параметров задачи.

Постановка задачи. Задачу об управляемом движении двух точек P и E на геометрической плоскости (соответствующая схема представлена на рис. 1) рассмотрим в подвижной системе координат [2], связанной с точкой P (пешеходом перехватчиком); ось Ox направлена вдоль линии EC , где C – центр кривизны траектории точки E , удаленной от E на расстояние R ; линия EC – перпендикулярна вектору скорости игрока E (w_2); координаты x, y – определяют положение точки E относительно точки P на плоскости. Игрок P обладает простым движением [2] – мгновенное изменение направления вектора скорости w_1 ($w_1=1$) под действием управляющего параметра φ , которому игрок P может придать любое значение из интервала $[-90^\circ; +90^\circ]$, стремясь минимизировать расстояние PE . Игрок E управляет радиусом кривизны своей траектории (величиной своей нормальной

силы), через параметр $\psi \sim [-1; +1]$, стремясь максимизировать расстояние PE.

В рассматриваемом случае дифференциальной игры качества будет соответствовать случай управляемого движения точки $x = \{x, y, w_2\}^T$ в трехмерном пространстве фазовых координат. Тогда движение точки E в отмеченном фазовом пространстве под действием тангенциальной $T = -k C_T w_2^2$ и нормальной $N = k C_N w_2^2$ сил может быть описано системой обыкновенных дифференциальных уравнений [2]

$$\begin{cases} \dot{x} = w_1 \sin \varphi - w_2 \psi y k C_N \\ \dot{y} = -w_1 \cos \varphi - w_2 + w_2 x \psi k C_N \\ \dot{w}_2 = -k C_T w_2^2 \end{cases} \quad (1)$$

или $\ddot{x} = f(\varphi, \psi, \vec{x})$ или $\dot{x}_i = f_i(\varphi, \psi, \vec{x})$,

где φ – параметр управления движением точки P, выбираемый из условия минимума расстояния PE;

ψ – параметр управления движением игрока E, выбираемый из условия максимизации расстояния PE.

В отличие от работы [2], где в системе дифференциальных уравнений движения явно используется радиус кривизны траектории, в настоящей работе принято представление радиуса $R = w_2^2 / N = 1 / (k C_N)$.

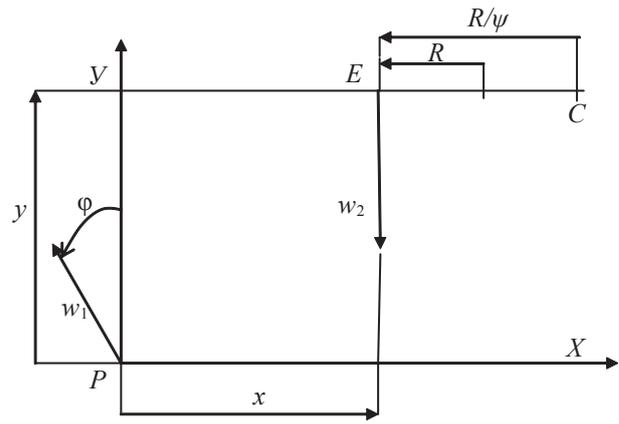


Рис. 1. Схема расположения точек P и E на геометрической плоскости

Fig. 1. Scheme of location points P and E in the geometric plane

Область захвата (где игрок P однозначно при оптимальном своем поведении ($\bar{\varphi} = opt \varphi(\vec{x})$) сблизится с игроком E на дистанцию $|PE| < 1 = 1$, а игра будет иметь плату (+1)) и область избежания захвата (при оптимальном поведении ($\bar{\psi} = opt \psi(\vec{x})$) игрок E обеспечит выполнение условия $|PE| > 1 = 1$, а игра будет иметь плату (-1)), отделены друг от друга в трехмерном пространстве ($n = 3$) фазовых координат поверхность ($n - 1 = 2$ -мерном многообразии), названной Р. Айзексом барьером [2].

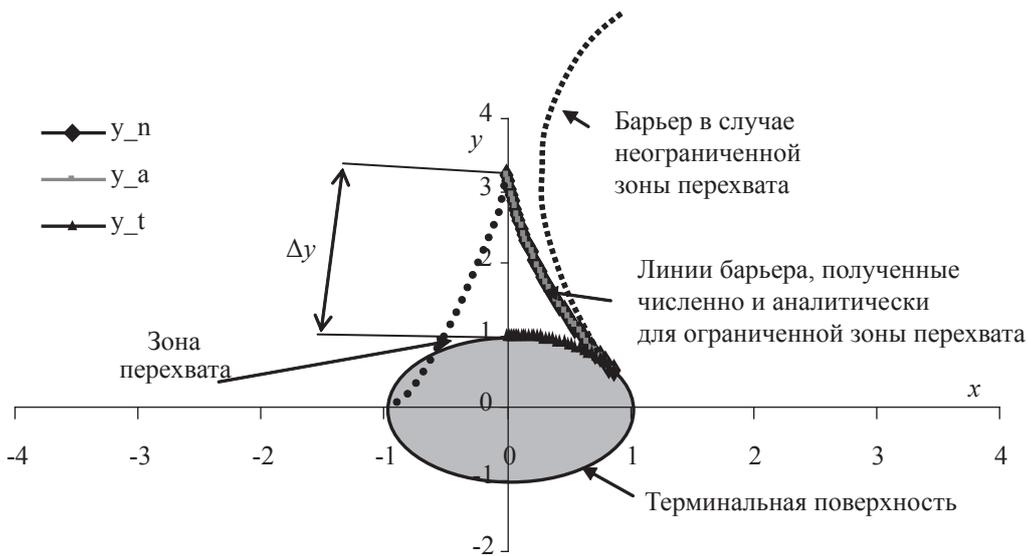


Рис. 2. Взаимное расположение линии барьера, полученной как численно, так и аналитически, и терминальной линии (поверхности) в случае игры «шофер-убийца» с двумя фазовыми координатами

Fig. 2. The relative position of the barrier line obtained both numerically and analytically, and terminal line (surface) in the case of games, «the driver-killer» two-phase coordinates

На поверхности раздела предполагается, что игра имеет нулевую плату (нейтральный для игроков исход). Эта поверхность касается терминальной поверхности (в нашем случае цилиндра с радиусом $l = 1$ и центром в точке P , рис. 2) вдоль линии (при фиксированном w_2 – в точке на геометрической плоскости), где выполняется условие $|PE| = 1 = 1$.

Для построения поверхности барьера (имеющего в каждой точке нормаль $\vec{v} = \{v_1, v_2, v_3\}^T$) достаточно найти траектории (совокупность траекторий в трехмерном фазовом пространстве), удовлетворяющую условию полупроницаемой поверхности [6]

$$\sum_i v_i f_i(\vec{x}, \vec{\varphi}, \vec{\psi}) = 0$$

как основному уравнению дифференциальных игр.

В рассматриваемом случае основное уравнение (аналог функции Гамильтона, использующейся в работах Л.С. Понтрагина [7] и Ф.Л. Черноушко [5]) имеет вид

$$\min_{\varphi(\vec{x})} \max_{\psi(\vec{x})} \left\{ v_1 [w_1 \sin \varphi - w_2 \psi y k C_N] + v_2 [w_2 x \psi C_N w_2^2] - v_3 k C_N w_2^2 \right\} = 0. \quad (2)$$

В работе [7] вектор $\vec{v} = \{v_1, v_2, v_3\}^T$ – описывается как вектор управляющих импульсов, а уравнение (2) как результат скалярного произведения вектора $\vec{p} = \vec{v}$ и вектора \vec{x} , согласно уравнению (1).

Непосредственное решение игры качества (построение барьера) было получено, с использованием системы уравнений характеристик в регрессивной форме ($\dot{x} = -\hat{x}$).

$$\begin{cases} \dot{x} = -w_1 \sin \varphi + w_2 \psi y k C_N \\ \dot{y} = w_1 \cos \varphi + w_2 - w_2 x \psi k C_N \\ \dot{w}_2 = k C_T w_2^2 \\ \dot{v}_1 = w_2 \psi k C_N v_2 \\ \dot{v}_2 = -w_2 \psi k C_N v_1 \\ \dot{v}_3 = -\psi y k C_N v_1 + v_2 [-1 + \psi x k C_N] - 2 v_3 C_N w_2 \end{cases}, \quad (3)$$

совместно с условием (2).

В качестве начального условия (геометрическая плоскость при фиксированном w_2) на терминальной поверхности выбиралась точка с координатами: $x = 1 \sin s_1$ и $y = 1 \cos s_1$ (в случае трехмерного фазового пространства

терминальная поверхность описывается двумя координатами: угловой s_1 и $s_2 = w_2$).

На терминальной поверхности можно выделить зону захвата (нормаль к поверхности $\vec{\gamma}$ направлена вовнутрь $r \dot{r} = x \dot{x} + y \dot{y} < 0$) и зону избежания захвата (нормаль к поверхности $\vec{\gamma}$ направлена во внешнюю сторону $r \dot{r} = x \dot{x} + y \dot{y} > 0$), а также линию их разделяющую, по которой происходит касание барьера и терминальной поверхности, определяемое начальным условием

$$\frac{1}{l} [r \dot{r}] = \frac{1}{l} [x \dot{x} + y \dot{y}] = 0$$

или

$$\min_{\varphi} \max_{\psi} \left\{ \begin{aligned} &\sin s_1 [w_1 \sin \varphi - w_2 \psi \cos s_1 k C_N] + \\ &+ \cos s_1 [-w_1 \cos \varphi - w_2 + \\ &+ w_2 \psi \sin s_1 k C_N] \end{aligned} \right\} = 0$$

или

$$\min_{\varphi} \{ w_1 (\sin s_1 \sin \varphi - \cos \varphi \cos s_1) - w_2 \cos s_1 \} = 0. \quad (4)$$

Значения $s_1 = s_1(s_2)$ были определены численно.

Значения коэффициентов C_T и C_N выбирались из условия пересечения или касания поверхности барьера плоскости YPW_2 (в плоском случае линии YP), что соответствовало ограниченности зоны захвата и соответственно окончанию численного расчета вдоль траектории с нулевой платой.

Численные расчеты были выполнены на ЭВМ как с использованием метода Эйлера, так и с использованием метода Рунге-Кутты IV-го порядка точности.

При единичных масштабах скорости и длины ($l = 1$ и $w_1 = 1$) значения шага по времени dt варьировались от 0,1 до 0,001, а значения управляющих параметров: φ от $-\pi$ до π , ψ от -1 до 1 варьировались (при численном решении основного уравнения на каждой итерации) в указанных интервалах с числом точек в интервале от 10 до 10 000.

В табл. 1 приведены значения двух фазовых координат (скорости (w_2) и продольного расстояния между игроками (Δy)) на момент окончания расчета барьера (условие $x = 0$), полученные в процессе сходимости по сетке (уменьшения шага дискретизации управляющих параметров: φ и ψ). Здесь можно отметить, что начиная с 3 000 точек на отме-

Зависимости значений фазовых координат в точке окончания расчета (начала маневра) от количества точек на интервал управляющих параметров ($C_N = 4, C_T = 1, dt = 0,01, kk = 0,1, w_1 = 1, l = 1$)

Dependencies phase coordinate values at the end of the calculation (the start of the maneuver) the number of points on the interval of the control parameters ($C_N = 4, C_T = 1, dt = 0,01, kk = 0,1, w_1 = 1, l = 1$)

Jk	10	50	100	500	1000	3000	4000	5000	10 000
Δy	3,92237	3,95043	3,95114	3,95139	3,95141	3,95143	3,95143	3,95143	3,95143
W_2	2,73727	2,74026	2,74064	2,74074	2,74071	2,74069	2,74069	2,74069	2,74069

Сходимость результатов от шага интегрирования по времени
Convergence results from the integration step in time

Dt	0,1	0,08	0,05	0,02	0,01	0,005	0,001
Δy (Эйлер)	4,25200 7,102 %	4,18884 5,560 %	4,104855 3,444 %	4,02126 1,337 %	3,99325 0,632 %	3,97933 0,281 %	3,96819
Δy (Рунге-Кутт)	3,83354 3,291 %	3,85515 2,746 %	3,89616 1,712 %	3,93753 0,668 %	3,95143 0,317 %	3,95840 0,142 %	3,96401
w_2 (Эйлер)	2,75904 0,6247 %	2,75487 0,4727 %	2,74982 0,2885 %	2,74493 0,1101 %	2,74334 0,0521 %	2,74254 0,0230 %	2,74191
w_2 (Рунге-Кутт)	2,72985 0,4304 %	2,73207 0,3494 %	2,73602 0,2054 %	2,73957 0,0759 %	2,74069 0,0350 %	2,741224 0,0155 %	2,74165

ченные выше интервалы решение перестает изменяться в пятом значащем числе после и остается устойчивым к дальнейшему уменьшению шага, что позволило выбрать значение 3 000 точек на интервал изменения управляющего параметра для всех последующих расчетов.

В табл. 2 представлены зависимости значений фазовых координат в точке окончания расчета в зависимости от шага интегрирования, полученные с использованием численных методов Эйлера и Рунге-Кутта. Учитывая, что начиная с шага интегрирования 0,005 и менее величина относительной погрешности не превосходит – 0,142 % (по методу Эйлера – 0,281 %), а расхождения между результатами по различным численным методам начинается только с третьей значимой цифры дальнейшие расчеты были проведены с шагом интегрирования 0,005.

В качестве теста на рис. 2 приведены линии барьеров, полученных численно и аналитически [2] в процессе решения задачи о «шофере-убийце» в плоской постановке. Предельные значения коэффициентов были

ограничены условием касания барьера отмеченной плоскости симметрии как предел маневренных и кинематических (скоростных) возможностей игрока E , обеспечивающий ему уход от захвата.

В виду ограниченности времени рассматриваемой задачи об уклонении и ее определенной специфики вопросы устойчивости согласно определению, введенному А.М. Ляпуновым (когда отклонения остаются малы при $t \rightarrow \infty$), аналитически не рассматривались [8].

Основное внимание было сосредоточено на игре качества об избежании столкновения в трехмерной постановке (рис. 3) при изначально встречных направлениях скоростей игроков в предположении о возможности получения предельных соотношений $C_N = C_N(C_T)$ для различных значений w_2 , а также на динамике изменения размеров области захвата (например, Δy) и кинематических потерях игрока E (Δw_2). Данный подход позволил получить соотношение между коэффициентами, которое может быть рассмотрено как показатель эффективности в дуэльной маневренной игре с нулевой суммой.

Первые численные параметрические расчеты, согласно описанной выше схеме, были выполнены для начальных условий в точке касания $w_2 = 2$ различных значений коэффициентов нормальной и тангенциальной сил, сравнительно близких интервалу соотношения $K = C_N/C_T \sim [0,5; 4]$. На рис. 4 представлены зависимости скорости игрока E и его удаление от игрока P в точке окончания расчета барьера в зависимости от упомянутых коэффициентов. Здесь можно отметить, что с ростом как C_N , так и C_T размер зоны возможных встреч, сокращается (рис. 4а). Однако, как видно на рис. 4(б), с ростом C_T резко увеличивается и требуемая к началу маневрирования скорость игрока E , иначе он попадает через поверхность барьера в зону перехвата вдоль оси w_2 . Таким образом, представляет интерес найти комбинацию рассматриваемых коэффициентов, обеспечивающих либо минимум Δy , либо минимум потерь скорости w_2 (рис. 4(в)). Но первый критерий для выбора комбинации может привести к большим энергетическим

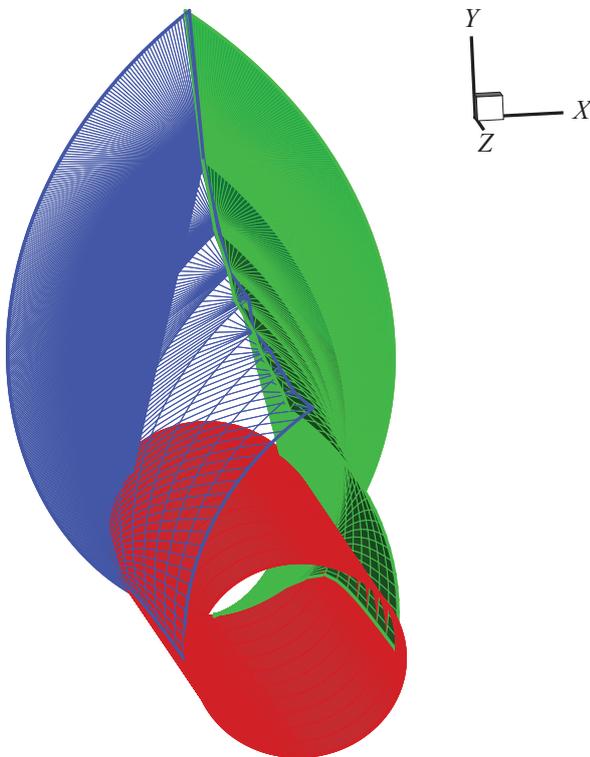


Рис. 3. Терминальная поверхность и поверхности барьеров в 3D-пространстве фазовых координат
Fig. 3. The terminal surface and the surface of the barriers in 3D-space phase coordinates

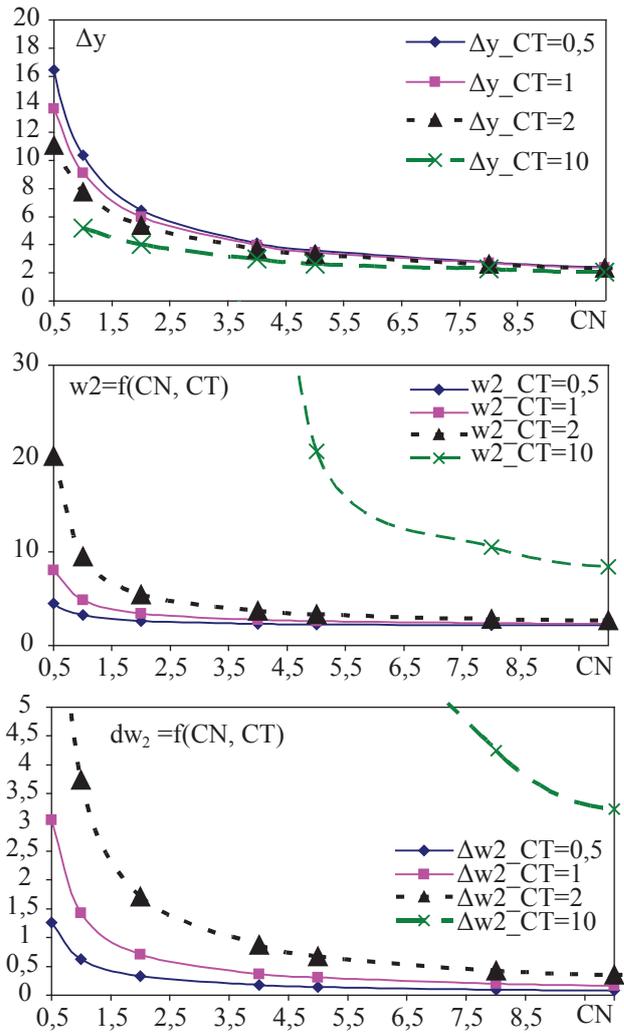


Рис. 4. Влияние коэффициентов нормальной и тангенциальной силы на значения фазовых координат в точке окончания барьера
Fig. 4. Influence factors of normal and tangential forces on the phase coordinate value at the end of the barrier

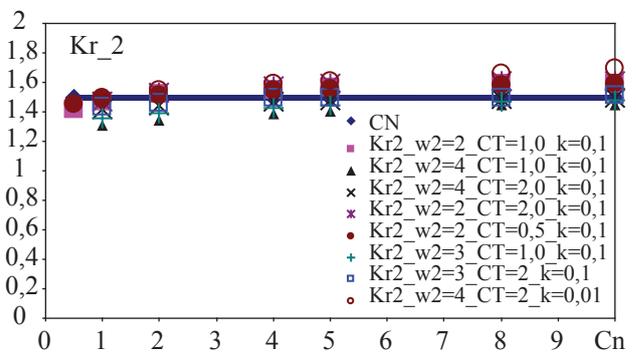


Рис. 5. Обобщение результатов в виде графической зависимости
Fig. 5. Summary of results in the form of graphic dependence

затратам, то время как при реализации уклонения игроку E должно хватить энергии для дальнейшего движения. В то же время, анализ зависимостей на рис. 4(в), позволяет сказать о целесообразности совершения маневра уклонения как за счет изменения кривизны траектории (увеличения C_N), так и за счет скоростных возможностей (w_2 и C_N/C_T), связанных с малыми потерями скорости игрока E .

Результаты параметрических исследований, выполненных в интервалах: коэффициента нормальной силы ($0,1 < C_N < 100$), скорости игрока E в точке касания барьера ($1 < w_2 < 10$) и коэффициента продольной силы ($0,1 < C_T < 4$) были аппроксимированы и систематизированы с использованием следующих зависимостей:

– значение скорости в точке начала маневра

$$w_2^{HM} = (0,45 + 1,1 * k) \frac{C_N^{0,28}}{K^{1,26}} w_2^{KM} + w_2^{KM}, \quad (6)$$

где $K = \frac{C_N}{C_T}$, $k = \frac{\rho S}{2m}$

– значение удаления точки начала маневра от терминальной поверхности в начале маневра

$$\Delta y = \frac{1,5 \cdot (8,6 + 0,4 / k)}{C_N^{0,9} (w_2^{HM})^{0,3}}. \quad (7)$$

Учитывая, что одной из задач настоящей работы является получение показателя эффективности исследуемой операции как комбинации коэффициентов (C_N и C_T) для игрока E , такое соотношение было получено исходя из стремления игрока E минимизировать значения величины Δy . В случае реализации этого стремления через увеличение коэффициента C_N и начальной скорости w_2^{HM} (7) или минимизации потерь скорости. Последнее будет обеспечиваться в случае роста соотношения $K^{1,26} / C_N^{0,28}$ (6). Таким образом, в качестве показателя эффективности соотношения рассматриваемых коэффициентов или первого обобщающего критериального соотношения можно предложить

$$Kr_1 = C_N^{0,816} K^{0,378} = \frac{C_N^{1,194}}{C_T^{0,378}}. \quad (8)$$

В качестве второго критериального соотношения, позволяющего обобщить результаты параметрических расчетных исследований, можно предложить

$$Kr_2 = \frac{\Delta y C_N^{0,9} \left[(0,45 + 1,1 * k) \times \times C_N^{0,28} w_2^{KM} + w_2^{KM} \right]^{0,3}}{8,6 + 0,4 / k} = 1,5 \quad (9)$$

Работоспособность этого соотношения подтверждается группировкой точек в окрестности значения 1,5 на рис. 5.

Самостоятельной рекомендацией игроку E , стремящемуся уклониться от столкновения, согласно представленным выше формулам, с условием минимальных относительных потерь скорости и минимизации величины Δy , является увеличение начальной скорости (перед началом маневра). Это может быть рассмотрено как самостоятельная задача, наряду с анализом влияния коэффициента k , хотя последнее потребует наложения ограничений на величину скорости разворота игрока P [9, 10].

Выводы

Представлена схематизация конфликтной ситуации об избежании столкновения двух игроков, что позволило привести постановку задачи и численный метод ее решения как дифференциальной игры качества в трехмерном фазовом пространстве с безразмерными коэффициентами сил, действующих на уклоняющегося игрока. Результаты численных параметрических расчетов обобщены в виде аналитических соотношений между характерными точками поверхности барьера (удаление точки начала маневра от терминальной поверхности, скорости в начале маневра и в точке его окончания) и коэффициентами нормальной и тангенциальной силы, действующей на уклоняющегося игрока (E). Полученные зависимости позволили выработать показатель эффективности маневренных возможностей максимизирующего игрока (E) в виде соотношения

$$Kr_1 = \frac{C_N^{1,194}}{C_T^{0,378}}.$$

Достоверность полученных данных подтверждена сравнением с известными теоретическими решениями и сходимостью по шагу интегрирования и сходимостью по сетке (дискретное изменение управляющего параметра).

Библиографический список

1. J. von Neumann, Morgenstern O., The theory of games and economic behavior, Princeton University Press, 1947.
2. Айзекс, Р. Дифференциальные игры / Р. Айзекс. – М.: Мир, 1967. – 480 с.
3. Лебедев, А.А. Основы синтеза систем летательных аппаратов / А.А. Лебедев. – М.: Машиностроение, 1987. – 224 с.
4. РДК ФГУП ЦНИИмаш. Аэродинамика летательных аппаратов, 2002.
5. Черноусько, Ф.Л. Вариационные задачи механики и управление / Ф.Л. Черноусько, Н.В. Баничук. – М.: Наука, 1973. – 238 с.
6. Галактионов, А.Ю. Численный расчет аэродинамических характеристик скоростных летательных аппаратов оптимальной формы с малоинерционными органами управления / А.Ю. Галактионов // XIII-я научно-техническая конференция. Центрального аэрогидродинамического института им. профессора Н.Е. Жуковского, 2012.
7. Понтрягин, Л.С. Математическая теория оптимальных процессов / Л.С. Понтрягин, В.Г. Болтянский, Р.В. Гамкелидзе, Е.Ф. Мищенко. – М.: Наука, 1969.
8. Дмитриевский, А.А. Внешняя баллистика: учебник для вузов / А.А. Дмитриевский, Л.Н. Лысенко. – М.: Машиностроение, 2005. – 608 с.
9. Петросян, Л.А. Геометрия простого преследования / Л.А. Петросян, Г.В. Томский. – Новосибирск: Наука, 1983. – 144 с.
10. Петросян, Л.А. Дифференциальные игры преследования / Л.А. Петросян. – Л.: Изд-во Ленинградского университета им. А.А. Жданова, 1977. – 224 с.

THE NUMERICAL SOLUTION OF ONE DIFFERENTIAL GAME OF QUALITY

Galaktionov A.Yu., Assoc. Prof. MSFU, Ph.D. (Tech.)⁽¹⁾

galakau@mail.ru

⁽¹⁾Moscow State Forest University, MSFU, 1, 1st Institutskaya st., Mytischki-5, Moscow reg., 141005, Russia

The problem of the effective avoidance between two points on the geometrical plane was analysed by 3D differential game of quality. As phase coordinates are chosen: speed of the Evader player and its geometrical coordinates. The mobile system of coordinates is connected with the Pursuer player, and one of its axes is directed in parallel to radius of curvature of the Evader player. The Pursuer player has simple movement. The restrictions are imposed on curvature of a trajectory of the Evader player. As a terminal surface the cylinder of individual radius is accepted. As the R.Ayzeks rule, the barrier of the game was obtained by numerical solution of the system of differential equations and it gave limited magnitudes of the avoidance player for effective manoeuvre. The construction of a surface of a barrier was carried out as a result of numerical parametrical accounts. For the control of accuracy of results the methods Euler and Runge-Kutty were used. The analysis of the approximation magnitudes of the forces coefficients was allowed to obtain indication of effective manoeuvre and it is necessary for the critirion of the synthesis of manoeuvre system. The present research in a part systemologikal is development of ideas N.E. Gukovsky and L.A. Petrosayn. The reliability of the received results is confirmed by convergence on time and settlement grid, and also comparison with known theoretical dependences.

Keywords: Differential game of quality, optimum avoidance, numerical method, indication of the effective manoeuvre.

References

1. J. von Neumann, Morgenstern O., The theory of games and economic behavior, Princeton University Press, 1947.
2. Ayzeks R. *Differentsial'nye igry* [Differential games]. Moscow: Mir, 1967. 480 p.
3. Lebedev A.A. *Osnovy sinteza sistem letatel'nykh apparatov* [Synthesis Bases of flight systems]. Moscow: Mashinostroenie, 1987. 224 p.
4. RDK FGUP TsNIImash. *Aerodinamika letatel'nykh apparatov* [Flight aerodynamic], 2002.
5. Chernous'ko F.L., Banichuk N.V. *Variatsionnye zadachi mekhaniki i upravlenie* [Variation task of control and mechanics]. Moscow: Nauka, 1973. 238 p.
6. Galaktionov A.Yu. *Chislennyi raschet aerodinamicheskikh kharakteristik skorostnykh letatel'nykh apparatov optimal'noy formy s maloinertsionnymi organami upravleniya* [Numerical solution of aerodynamic for optimal forms with high-speed body]. XIII nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya. Tsentral'nogo aerogidrodinamicheskogo instituta im. professora N.E. Zhukovskogo, 2012.
7. Pontryagin L.S., Boltyanskiy V.G., Gamkelidze R.V., Mishchenko E.F. *Matematicheskaya teoriya optimal'nykh protsessov* [Mathematical theory of optimum processes]. Moscow: Nauka, 1969.
8. Dmitrievskiy A.A., Lysenko L.N. *Vneshnyaya ballistika* [External ballistics]. Moscow: Mashinostroenie, 2005. 608 p.
9. Petrosyan L.A., Tomskiy G.V. *Geometriya prostogo presledovaniya* [Geometry of simple pursuit]. Novosibirsk: Nauka, 1983, 144 p.
10. Petrosyan L.A. *Differentsial'nye igry presledovaniya* [Differential games of pursuit]. Leningrad: Leningradskiy universitet im. A.A. Zhdanova, 1977, 224 p.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЙТИНГОВЫХ ОЦЕНОК НА ОСНОВЕ СЕМАНТИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВ

О.М. ПОЛЕЩУК, проф., МГУЛ, д-р техн. наук⁽¹⁾

poleshchuk@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ФГБОУ ВО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1

На основе семантических пространств определяются рейтинговые оценки в условиях разнородных качественных и количественных характеристик. Подобная задача всегда была нетривиальной, поскольку разнородные характеристики имеют разные шкалы, для которых не всегда корректны арифметические операции. Построение рейтинговых оценок в таких условиях стало возможным после появления понятия лингвистической переменной, которая позволила формализовать значения качественных характеристик, а физическим значениям количественных характеристик поставить в соответствие экспертные оценки их качественного восприятия. Результатом этого стала возможность оперирования разнородными характеристиками в рамках единой универсальной шкалы.

Ключевые слова: рейтинговая оценка, лингвистическая переменная, семантическое пространство.

Задачи определения рейтингов и рейтинговых оценок возникают в самых разных областях деятельности человека – образование, экология, экономика, техника и т.д. Как правило, эти задачи усложняются разнородностью оцениваемых характеристик, которые носят количественный и качественный характер. Нахождения рейтингов в рамках количественных характеристик достаточно часто сводятся к нахождению по векторам частных количественных оценок скалярных интегральных показателей [1]. При оценивании качественных характеристик достаточно часто используются вербальные шкалы. Уровням этих шкал в соответствие ставятся числовые баллы – элементы порядковых шкал. В теории экспертного оценивания задача определения наборов числовых баллов, поставленных в соответствие элементам порядковых шкал, является одной из основных задач. В случае использования необоснованного произвольного набора числовых баллов нарушается устойчивость окончательных выводов [1]. Из этого следует, что или в рамках каждой конкретной задачи должен быть обоснован выбор набора числовых баллов, поставленных в соответствие уровням вербальных шкал, или должен быть предложен новый подход (исключающий необходимость оперирования с конкретным набором числовых баллов) к нахождению рейтинговых результатов.

Согласно [2], нечетким множеством \tilde{A} называется множество пар вида

$\{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) : x \in X\}$, где $\mu_{\tilde{A}}(x) : X \rightarrow [0, 1]$ – функции принадлежности \tilde{A} .

Лингвистической переменной называется пятерка

$$\{X, T(X), U, V, S\},$$

где X – название переменной;

$T(X) = \{X_i, i = \overline{1, m}\}$ – терм-множество переменной X , то есть множество названий лингвистических значений переменной X (каждое из этих значений – нечеткая переменная со значениями из универсального множества U);

V – синтаксическое правило, порождающее названия значений лингвистической переменной X ;

S – семантическое правило, которое ставит в соответствие каждой нечеткой переменной с названием из $T(X)$ нечеткое подмножество универсального множества U .

Термы $X_i, i = \overline{1, m}$ называют понятиями, образующими лингвистическую переменную. Функцию принадлежности нечеткого множества $\tilde{X}_i, i = \overline{1, m}$, описывающего возможные значения нечеткой переменной с названием $X_i, i = \overline{1, m}$, традиционно называют функцией принадлежности понятия $X_i, i = \overline{1, m}$ или функцией принадлежности термина $X_i, i = \overline{1, m}$.

Семантическим пространством называется лингвистическая переменная с фиксированным терм-множеством.

Проведенные теоретические исследования свойств семантических пространств,

направленные на повышение адекватности моделей экспертного оценивания характеристик и их полезности для решения практических задач, позволили обоснованно сформулировать требования к функциям принадлежности $\mu_l(x), l=\overline{1, m}$ их терм-множеств [3].

1. Для каждого понятия $X_l, l=\overline{1, m}$ существует $\hat{U}_l \neq \emptyset$, где $\hat{U}_l = \{x \in U : \mu_l(x) = 1\}$ есть точка или отрезок.

2. Пусть $\hat{U}_l = \{x \in U : \mu_l(x) = 1\}$, тогда $\mu_l(x), l=\overline{1, m}$ не убывает слева от \hat{U}_l и не возрастает справа от \hat{U}_l .

3. $\mu_l(x), l=\overline{1, m}$ имеют не более двух точек разрыва первого рода.

4. Для каждого

$$x \in U \quad \sum_{l=1}^m \mu_l(x) = 1.$$

Семантические пространства, функции принадлежности которых удовлетворяют сформулированным требованиям, получили название полных ортогональных семантических пространств (ПОСП).

Семантические пространства широко используются для формализации вербальных шкал, значениями которых являются слова [4]. Вербальные шкалы используются не только для оценки качественных характеристик, но и достаточно часто для описания физических значений количественных характеристик. Например, для описания параметра «давление пара на входе» (с областью изменения [1,1, 6,7] изделия «подогреватель высокого давления», которое предназначается для повышения КПД турбоустановки, используется вербальная шкала с уровнями «малое давление пара», «давление близкое к 4», «большое давление пара». Другим примером является вербальная шкала для описания вероятностей наступления события. Как известно, вероятность события выражается обычной числовой величиной и изменяется от нуля до единицы. Однако когда речь идет, например, о вероятности банкротства предприятия, то руководителю этого предприятия интересуют не конкретное число, которое для него, скорее всего, мало информативно, а определение одного из вербальных уровней вероятности банкротства: «очень малая», «малая», «средняя», «высокая», «очень высокая».

1. Определение рейтинговых оценок в рамках количественных и качественных характеристик

Рассмотрим совокупность N объектов, у которых оцениваются количественные характеристики $X_j, j=\overline{1, l}$ и интенсивности проявления качественных характеристик $X_v, v=\overline{l+1, k}$. В совокупности оцениваемые характеристики оказывают существенное влияние на характеристику Y - успешность функционирования объектов, которая оценивается в рамках шкалы: Y_1 = «предельно неуспешно», Y_2 = «неуспешно», Y_3 = «средне успешно», Y_4 = «относительно успешно», Y_5 = «предельно успешно».

Областями значений количественных характеристик $X_j, j=\overline{1, l}$ могут являться несчетные множества точек действительной прямой – $R_j, j=\overline{1, l}$.

Построим, используя информацию экспертов, ПОСП с названиями $X_j, j=\overline{1, l}$ [5]. Если рост характеристики $X_j, j=\overline{1, l}$ сопровождается ростом характеристики Y , то «очень малое значение характеристики X_j », «малое значение характеристики X_j », «среднее значение характеристики X_j », «большое значение характеристики X_j », «очень большое значение характеристики X_j » являются термами ПОСП, а $\mu_{ij}(x), i=\overline{1, 5}, j=\overline{1, l}$ их функциями принадлежности. Если рост характеристики $X_j, j=\overline{1, l}$ сопровождается уменьшением характеристики Y , то «очень большое значение характеристики X_j », «большое значение характеристики X_j », «среднее значение характеристики X_j », «малое значение характеристики X_j », «очень малое значение характеристики X_j » являются термами ПОСП, а $\mu_{ij}(x), i=\overline{1, 5}, j=\overline{1, l}$ их функциями принадлежности.

Обозначим через $x_j^n, n=\overline{1, N}, j=\overline{1, l}$ значения характеристик $X_j, j=\overline{1, l}$ у n -го объекта, $n=\overline{1, N}$, а через $\mu_{ij}(x_j^n), i=\overline{1, 5}, j=\overline{1, l}, n=\overline{1, N}$ степени принадлежности этих значений к термам ПОСП с названием $X_j, j=\overline{1, l}$.

Пусть $X_{lv}, l=\overline{1, m_v}$ – уровни вербальных шкал, применяемых для оценивания соответственно характеристик $X_v, v=\overline{l+1, k}$. Уровни расположены в порядке возрастания интенсивности проявления соответствующей

характеристики, если ее рост сопровождается ростом Y , и в порядке убывания, если ее рост сопровождается уменьшением Y .

Построим $k - l$ ПОСП с названиями $X_v, v=\overline{l+1, k}$, терм-множествами соответственно $X_{lv}, l=\overline{1, m_v}, v=\overline{l+1, k}$ и функциями принадлежности $\mu_{lv}(x), l=\overline{1, m_v}, v=\overline{l+1, k}$. В качестве универсальных множеств ПОСП выбирается $U=[0, 1]$. Будем называть оценками объектов нечеткие числа $\tilde{X}_{lv}, l=\overline{1, m_v}, v=\overline{l+1, k}$ или их функции принадлежности $\mu_{lv}(x), l=\overline{1, m_v}, v=\overline{l+1, k}$. Обозначим через \tilde{X}_v^n и $\mu_v^n(x) \equiv (a_{v1}^n, a_{v2}^n, a_{vL}^n, a_{vR}^n), n=\overline{1, N}, v=\overline{l+1, k}$, оценку n -го объекта в рамках характеристики $X_v, v=\overline{l+1, k}$. Нечеткое число \tilde{X}_v^n с функцией принадлежности $\mu_v^n(x)$ равно одному из нечетких чисел $\tilde{X}_{lv}, l=\overline{1, m_v}, v=\overline{l+1, k}$.

Обозначим через $\delta_i(x_v^n), n=\overline{1, N}, v=\overline{l+1, k}, i=\overline{1, 5}$ функцию, которая принимает значение 1, если оценкой n -го объекта в рамках характеристики $X_v, v=\overline{l+1, k}$ является нечеткое число $\tilde{X}_{iv}, i=\overline{1, 5}$, и значение 0, если оценкой n -го объекта в рамках характеристики $X_v, v=\overline{l+1, k}$ является нечеткое число $\tilde{X}_{pv}, p=\overline{1, 5}, p \neq i$.

Обозначим через

$$\omega_j, j=\overline{1, k}, \sum_{j=1}^k \omega_j = 1$$

весовые коэффициенты оцениваемых характеристик. Вычислим коэффициенты

$$\lambda_i^n = \sum_{j=1}^l \omega_j \mu_{ij}(x_j^n) + \sum_{v=l+1}^k \omega_v \delta_i(x_v^n), i=\overline{1, 5}, n=\overline{1, N}.$$

Найдем сумму этих коэффициентов, используя свойства ПОСП и определение функций $\delta_i(x_v^n), n=\overline{1, N}, v=\overline{l+1, k}, i=\overline{1, 5}$.

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^5 \lambda_i^n &= \omega_1(\mu_{11}(x_1^n) + \mu_{21}(x_1^n) + \dots + \mu_{s1}(x_1^n)) + \dots \\ &+ \omega_l(\mu_{l1}(x_l^n) + \mu_{2l}(x_l^n) + \dots + \mu_{sl}(x_l^n)) + \\ &+ \omega_{l+1}(\delta_1(x_{l+1}^n) + \delta_2(x_{l+1}^n) + \dots + \delta_5(x_{l+1}^n)) + \dots \\ &+ \omega_k(\delta_1(x_k^n) + \delta_2(x_k^n) + \dots + \delta_5(x_k^n)) = \sum_{j=1}^k \omega_j = 1. \end{aligned}$$

Исходя из этого, коэффициенты $\lambda_i^n, i=\overline{1, 5}, n=\overline{1, N}$ можно считать весовыми коэффициентами термов характеристики Y для n -го объекта, $n=\overline{1, N}$. Нечеткая рейтинговая оценка n -го объекта, $n=\overline{1, N}$ в рамках характеристик $X_j, j=\overline{1, k}$ определяется в виде нечеткого числа

$$\tilde{A}_n = \lambda_1^n \otimes \tilde{Y}_1 \oplus \dots \oplus \lambda_5^n \otimes \tilde{Y}_5$$

с функцией принадлежности

$$\mu_n(x) \equiv \left(\sum_{i=1}^5 \lambda_i^n a_{i1}, \sum_{i=1}^5 \lambda_i^n a_{i2}, \sum_{i=1}^5 \lambda_i^n a_{iL}, \sum_{i=1}^5 \lambda_i^n a_{iR} \right), n=\overline{1, N}$$

где $\tilde{Y}_i \equiv (a_{i1}, a_{i2}, a_{iL}, a_{iR}), i=\overline{1, 5}$.

Дефаззифицируем нечеткое число $\tilde{A}_n, n=\overline{1, N}$, по методу центра тяжести, полученное четкое число обозначим через $A_n, n=\overline{1, N}$.

Для распознавания успешности функционирования объектов необходимо идентифицировать нечеткое число с функцией принадлежности $\mu_n(x), n=\overline{1, N}$ с одним из термов ПОСП с названием Y (с одним из нечетких чисел $\tilde{Y}_i, i=\overline{1, 5}$ с функциями принадлежности $\mu_i(x), i=\overline{1, 5}$). Для этого вычислим идентификационные показатели

$$\beta_n^i = \frac{\int_0^1 \min(\mu_i(x), \mu_n(x)) dx}{\int_0^1 \max(\mu_i(x), \mu_n(x)) dx}, i=\overline{1, 5}, n=\overline{1, N}.$$

Если $\beta_n^p = \max_i \beta_n^i$, то состояние n -го объекта определяется p -ым уровнем шкалы $Y_1 =$ «предельно неуспешно», $Y_2 =$ «неуспешно», $Y_3 =$ «средне успешно», $Y_4 =$ «относительно успешно», $Y_5 =$ «предельно успешно», $p=\overline{1, 5}$ [6, 7].

Обозначим соответственно через A_n^1, A_n^2 рейтинговые оценки n -го объекта за периоды 1 и 2. В зависимости от соотношений между A_n^1, A_n^2 делаются следующие выводы: если $A_n^1 > A_n^2$, то состояние n -го объекта ухудшилось; если $A_n^1 < A_n^2$, то состояние n -го объекта улучшилось; если $A_n^1 = A_n^2$, то состояние n -го объекта не изменилось.

2. Пример. Анализ риска банкротства предприятия

Рассмотрим характеристику D – «степень риска банкротства предприятия» с лингвистическими значениями D_1 – «незначительная», D_2 – «низкая», D_3 – «средняя», D_4 – «высокая», D_5 – «наивысшая». Этой характеристике в соответствие можно поставить характеристику C – «состояние предприятия», а лингвистическим значе-

ниям $D_l, l=\overline{1,5}$ характеристики D поставить в соответствие лингвистические значения C_5 – «предельное благополучие», C_4 – «относительное благополучие», C_3 – «среднее качество», C_2 – «неблагополучие», C_1 – «предельное неблагоприятие» характеристики C . Областью изменения характеристики C является отрезок $[0, 1]$.

Функциями принадлежности лингвистических значений $C_l, l=\overline{1,5}$ могут быть функции $\eta_l, l=\overline{1,5}$ соответственно с параметрами

$$\eta_1 \equiv (0, 0.15, 0, 0.10),$$

$$\eta_2 \equiv (0.25, 0.35, 0.10, 0.10),$$

$$\eta_3 \equiv (0.45, 0.55, 0.10, 0.10),$$

$$\eta_4 \equiv (0.65, 0.75, 0.10, 0.10),$$

$$\eta_5 \equiv (0.85, 1, 0.10, 0).$$

Эксперты установили, что на основании группы из шести отдельных показателей, имеющих равную значимость для анализа, можно проводить комплексный анализ выбранных предприятий с очень высокой степенью достоверности.

Таковыми показателями являются:

X_1 – коэффициент автономии (отношение собственных средств к валюте баланса);

X_2 – коэффициент обеспеченности оборотных активов собственными средствами (отношение чистого оборотного капитала к оборотным активам);

X_3 – коэффициент промежуточной ликвидности (отношение суммы денежных средств и дебиторской задолженности к краткосрочным пассивам);

X_4 – коэффициент абсолютной ликвидности (отношение суммы денежных средств к краткосрочным пассивам);

X_5 – оборачиваемость всех активов в годовом исчислении (отношение выручки от реализации к средней за период стоимости активов);

X_6 – рентабельность всего капитала (отношение чистой прибыли к средней за период стоимости активов).

Лингвистическими значениями характеристик $X_j, j=\overline{1,6}$ являются следующие значения: X_{1j} – «очень низкий», X_{2j} – «низкий», X_{3j} – «средний», X_{4j} – «высокий», X_{5j} – «очень

высокий», $j=\overline{1,6}$ соответственно с функциями принадлежности $\mu_{lj}, l=\overline{1,5}, j=\overline{1,6}$:

$$\mu_{11} \equiv (0, 0.100, 0, 0.100),$$

$$\mu_{21} \equiv (0.200, 0.250, 0.100, 0.050),$$

$$\mu_{31} \equiv (0.300, 0.450, 0.050, 0.050),$$

$$\mu_{41} \equiv (0.500, 0.600, 0.050, 0.100),$$

$$\mu_{51} \equiv (0.700, 1, 0.100, 0),$$

$$\mu_{12} \equiv (-1, -0.005, 0, 0.005),$$

$$\mu_{22} \equiv (0, 0.090, 0.005, 0.020),$$

$$\mu_{32} \equiv (0.110, 0.300, 0.020, 0.050),$$

$$\mu_{42} \equiv (0.350, 0.450, 0.050, 0.050),$$

$$\mu_{52} \equiv (0.500, 1, 0.050, 0),$$

$$\mu_{31} \equiv (0, 0.500, 0, 0.100),$$

$$\mu_{33} \equiv (0.800, 0.900, 0.100, 0.100),$$

$$\mu_{43} \equiv (1, 1.300, 0.100, 0.200),$$

$$\mu_{53} \equiv (1.500, \infty, 0.200, \infty),$$

$$\mu_{14} \equiv (0, 0.020, 0, 0.010),$$

$$\mu_{24} \equiv (0.030, 0.080, 0.020, 0.020),$$

$$\mu_{34} \equiv (0.100, 0.300, 0.020, 0.050),$$

$$\mu_{44} \equiv (0.350, 0.500, 0.050, 0.100),$$

$$\mu_{54} \equiv (0.600, \infty, 0.100, \infty),$$

$$\mu_{15} \equiv (0, 0.120, 0, 0.020),$$

$$\mu_{25} \equiv (0.140, 0.180, 0.020, 0.020),$$

$$\mu_{35} \equiv (0.200, 0.300, 0.020, 0.100),$$

$$\mu_{45} \equiv (0.400, 0.500, 0.100, 0.300),$$

$$\mu_{55} \equiv (0.800, \infty, 0.300, \infty),$$

$$\mu_{16} \equiv (-\infty, 0, -\infty, 0),$$

$$\mu_{26} \equiv (0, 0.006, 0, 0.004),$$

$$\mu_{36} \equiv (0.010, 0.060, 0.004, 0.040),$$

$$\mu_{46} \equiv (0.100, 0.225, 0.040, 0.175),$$

$$\mu_{56} \equiv (0.400, \infty, 0.175, \infty).$$

Рассмотрим предприятие машиностроения, которое анализируется по двум

Значения финансовых показателей
Financial ratios

Шифр показателя X_j	Наименование показателя X_j	Значение показателя $X_j - c_j^1$ в период 1	Значение показателя $X_j - c_j^2$ в период 2
X_1	Коэффициент автономии	0,839	0,822
X_2	Коэффициент обеспеченности	0,001	-0,060
X_3	Коэффициент промежуточной ликвидности	0,348	0,208
X_4	Коэффициент абсолютной ликвидности	0,001	0,0001
X_5	Оборачиваемость всех активов (в годовом исчислении)	0,162	0,221
X_6	Рентабельность всего капитала	-4%	-4,3%

Т а б л и ц а 2

Значения $\mu_{ij}(c_j^1), \lambda_l^1$ по периоду 1
The values $\mu_{ij}(c_j^1), \lambda_l^1$ for the period 1

	$\mu_{1j}(c_j^1)$	$\mu_{2j}(c_j^1)$	$\mu_{3j}(c_j^1)$	$\mu_{4j}(c_j^1)$	$\mu_{5j}(c_j^1)$
X_1	0	0	0	0	1
X_2	0	1	0	0	0
X_3	1	0	0	0	0
X_4	1	0	0	0	0
X_5	0	1	0	0	0
X_6	1	0	0	0	0
λ_l^1	0,500	0,333	0	0	0,167

Т а б л и ц а 3

Значения $\mu_{ij}(c_j^2), \lambda_l^2$ по периоду 2
The values $\mu_{ij}(c_j^2), \lambda_l^2$ for the period of 2

	$\mu_{1j}(c_j^2)$	$\mu_{2j}(c_j^2)$	$\mu_{3j}(c_j^2)$	$\mu_{4j}(c_j^2)$	$\mu_{5j}(c_j^2)$
X_1	0	0	0	0	1
X_2	1	0	0	0	0
X_3	1	0	0	0	0
X_4	1	0	0	0	0
X_5	0	0	1	0	0
X_6	1	0	0	0	0
λ_l^2	0,666	0	0,167	0	0,167

периодам – третий и четвертый кварталы некоторого года (период 1 и период 2) – и характеризуется значениями показателей $X_j, j=\overline{1,6}$, представленными в табл. 1.

В табл. 2 и 3 занесены соответственно данные $\mu_{ij}(c_j^1), \lambda_l^1, \mu_{ij}(c_j^2), \lambda_l^2, l=\overline{1,5}, j=\overline{1,6}$.

Согласно данным табл. 2 и 3, получаем значение для «состояния предприятия» в периоде 1 равным $A_1 = 0,291$, а в периоде 2 равным $A_2 = 0,287$. Предприятие в обоих периодах признано неблагополучным (не-

четкие рейтинговые оценки идентифицируются с термом C_2 – «неблагополучие»), с высокой степенью риска банкротства (терм C_2 – «неблагополучие» соответствует уровню D_4 – «высокая степень риска банкротства предприятия»). Причем произошло некоторое ухудшение состояния предприятия, причиной которого является перекрытие качественного роста оборачиваемости качественным падением обеспеченности оборотных активов собственными средствами.

Заключение

В настоящей работе для формализации экспертной информации, полученной при оценивании характеристик различных областей деятельности человека (образование, экология, экономика, техника и т.д.), выбраны семантические пространства. Как правило, процедуры экспертного оценивания усложняются разнородностью оцениваемых характеристик, которые носят количественный и качественный характер. Построение рейтинговых оценок в таких условиях стало возможным после появления понятия лингвистической переменной, которая позволила формализовать значения качественных характеристик, а физическим значениям количественных характеристик поставить в соответствие экспертные оценки их качественного восприятия. Результатом этого стала возможность оперирования разнородными характеристиками в рамках единой универсальной шкалы. В работе представлена модель определения рейтинговых оценок в условиях наличия характеристик разнородного

характера, которая гарантирует корректность оперирования с их значениями и устойчивость конечных результатов.

Библиографический список

1. Olga Poleshchuk and Evgeniy Komarov Expert Fuzzy Information Processing. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. – 237 p.
2. Заде, Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л.А. Заде. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
3. Полещук, О.М. Методы представления экспертной информации в виде совокупности терм-множеств полных ортогональных семантических пространств / О.М. Полещук // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2002. – № 5(25). – С. 198–216.
4. Полещук, О.М. Математическая модель обработки экспертных оценок / О.М. Полещук // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2005. – № 6(42). – С. 161–164.
5. Полещук, О.М. О развитии систем обработки нечеткой информации на базе полных ортогональных семантических пространств / О.М. Полещук // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2003. – № 1(26). – С. 112–117.
6. Домрачев, В.Г. Мониторинг функционирования объектов на основе нечеткого описания их состояний / В.Г. Домрачев, Е.Г. Комаров, О.М. Полещук // Информационные технологии. – 2007. – № 11. – С. 46–52.
7. Ashraf Darwish and Olga Poleshchuk New models for monitoring and clustering of the state of plant species based on semantic spaces // Journal of Intelligent and Fuzzy Systems. – 2014. – Vol. 26. – P. 1089–1094.

RATING ASSESSMENT ON THE BASIS OF SEMANTIC SPACES

Poleshchuk O.M., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Higher Mathematics and Physics Department ⁽¹⁾

poleshchuk@mgul.ac.ru

⁽¹⁾Moscow State Forest University, MSFU, 1, 1st Institutskaya st., Mytischki-5, Moscow reg., 141005, Russia

A model of rating assessment on the basis of semantic spaces in terms of qualitative and quantitative characteristics is developed in the paper. This problem has been nontrivial for a long time because different characteristics have different scales not always with correct arithmetic operations. Solution of the problem in such conditions became possible after the appearance of the concept of linguistic variable which allowed to formalize the values of qualitative characteristics and to match quantitative values of physical characteristics the expert assessment of their quality perception. As a result of that it is appears a possibility of operating with different characteristics within a single universal scale.

Keywords: rating point, linguistic variable, semantic space.

References

1. Olga Poleshchuk and Evgeniy Komarov Expert Fuzzy Information Processing. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. 237 p.
2. Zadeh L.A. *Ponjatie lingvisticheskoj peremennoj i ego primenenie k prinjatiju priblizitel'nyh reshenij* [Concept of a linguistic variable and its application to adoption of approximate decisions]. Moscow: Mir, 1976. 165 p.
3. Poleshchuk O.M. *Metody predstavleniya ekspertnoy informatsii v vide sovokupnosti term-mnozhestv polnykh ortogonal'nykh semanticheskikh prostranstv* [Methods of presentation of expert information as a set of term-sets of complete orthogonal semantic spaces]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik. 2002. № 5 (25). pp. 198-216.
4. Poleshchuk O.M. *Matematicheskaya model obrabotki ekspertnykh otsenok* [Mathematical model of processing expert assessments]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik. 2005. № 6 (42). pp 161-164.
5. Poleshchuk O.M. *O razvitii sistem obrabotki nechetkoj informacii na baze polnykh ortogonal'nykh emanticheskikh prostranstv* [On the development of fuzzy information processing systems on the basis of complete orthogonal semantic spaces]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik. 2003. № 1 (26). pp. 112-117.
6. Domrachev V.G., Komarov E.G., Poleshchuk O.M. *Monitoring funkcionirovaniya ob'ektov na osnove nechetkogo opisaniya ikh sostoyaniy* [Performance monitoring objects based on fuzzy descriptions of their states]. *Informatsionnye tekhnologii*. 2007. № 11. pp. 46-52.
7. Ashraf Darwish and Olga Poleshchuk New models for monitoring and clustering of the state of plant species based on semantic spaces. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*. 2014. Vol. 26. pp. 1089-1094.

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ РЕШЕНИЙ КВАЗИГИПЕРБОЛИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

И.Е. СИГАЛОВ, проф. МГУЛ, канд. физ.-мат. наук⁽¹⁾

caf-math@mgul.ac.ru, caf-physics@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет леса» 141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1

Рассмотрена задача Коши для класса уравнений квазигиперболического типа, которые относятся к классу уравнений, не разрешенных относительно производной по времени, впервые рассмотренных в работах С.Л. Соболева и С.А. Гальперна. Актуальность изучения таких уравнений связана с тем, что уравнения подобного типа описывают внутренние колебания вращающейся жидкости, а также ряд других важных задач гидромеханики. В работе изучены распространения особенностей решений задачи Коши рассмотренных квазигиперболических уравнений с использованием теории интегральных операторов Фурье. Применение интегральных операторов Фурье позволяет приводить псевдодифференциальные операторы к более простому виду. Метод, связанный с интегральными операторами Фурье, получил широкое распространение при исследовании уравнений в частных производных, связанных с задачами математической физики и называется в математической литературе методом микроволнового анализа. С помощью микроволнового анализа удалось определить множество, на котором лежат особенности решений квазигиперболических уравнений, рассмотренных в данной статье. Множество представляет собой объединение конгруэнтных аффинных конусов со сложным, самопересекающимся сечением. В статье приведены графики сечений таких конусов для различных степеней лапласиана.

Ключевые слова: задача Коши, интегральных операторов Фурье, микроволновый анализ.

Рассмотрим следующий класс задач Коши

$$\left(\frac{\partial^n}{\partial x_1^n} + \frac{\partial^n}{\partial x_2^n}\right) \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial^{n+2} u}{\partial x_1^{n+2}} + \frac{\partial^{n+2} u}{\partial x_2^{n+2}},$$

$$u|_{t=0} = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial t} \Big|_{t=0} = f(x),$$

где $u = u(t, x)$, $x \in R^2$, $n \in N$, и f финитна.

Применив преобразование Фурье по x следующим образом

$$\hat{u}(t, \xi) = \frac{1}{2\pi} \int_{R^2} e^{ix\xi} u(t, x) dx,$$

можно легко выразить \hat{u}

$$(\xi_1^n + \xi_2^n) \frac{\partial^2 \hat{u}}{\partial t^2} = (\xi_1^{n+2} + \xi_2^{n+2}) \hat{u},$$

следовательно

$$\hat{u}(t, \xi) = \hat{f}(\xi) \frac{\sin(tm(\xi))}{m(\xi)},$$

где

$$m(\xi) = \sqrt{\frac{\xi_1^{n+2} + \xi_2^{n+2}}{\xi_1^n + \xi_2^n}}.$$

Обращая \hat{u} , можно выразить u как разность двух интегралов

$$u(t, x) = \frac{1}{4\pi^2} \iint e^{i((y-x)\xi + tm(\xi))} \frac{f(y)}{2im(\xi)} dy d\xi \Big|_{-}^{+}.$$

Обозначим их как $u_+(t, x)$ и $u_-(t, x)$. Выбрав финитную $\chi \in C_0^\infty(R^2)$ так, чтобы $\chi(\xi) = 1$ в окрестности $\xi = 0$, представим $u_+(t, x)$ как сумму $v_+(t, x) + w_+(t, x)$, где

$$v_+(t, x) = \frac{1}{4\pi^2} \iint e^{i((y-x)\xi + tm(\xi))} \frac{f(y)\chi(\xi)}{2im(\xi)} dy d\xi,$$

$$w_+(t, x) = \frac{1}{4\pi^2} \iint e^{i((y-x)\xi + tm(\xi))} \frac{f(y)(1-\chi(\xi))}{2im(\xi)} dy d\xi.$$

Предположим для простоты, что $f \in L^1(R^2)$. Тогда видно, что $v_+ \in C^\infty(R^3)$ и, т. о., множества особенностей u_+ и w_+ совпадают. В свою очередь, $w_+(t, x) = Tf(y)$, где T – интегральный оператор Фурье с фазовой функцией $\Phi = (y-x)\xi + tm(\xi)$. По теореме Хермандера [7] вышеупомянутые особенности лежат на множестве

$$\{(t, x) : \exists y \in \text{sing supp } f, \exists \xi \mid \Phi_\xi(t, x, y, \xi) = 0\}, \quad (1)$$

$\Phi_\xi(t, x, y, \xi) = y - x + tm_\xi(\xi)$; последняя однородна порядка 0, и, введя $k = \xi_1/\xi_2$, можно представить условие $\Phi_\xi(t, x, y, \xi) = 0$ как систему

$$\begin{cases} x_1 = \text{sgn}(\xi_2) t \phi_1(k) + y_1 \\ x_2 = \text{sgn}(\xi_2) t \phi_2(k) + y_2, \end{cases} \quad (2)$$

где

$$\phi_1(k) = \pm m_{\xi_1}(\xi) = \frac{2k^{2n+1} + (n+2)k^{n+1} - nk^{n-1}}{2\sqrt{k^{n+2} + 1}(k^n + 1)^{3/2}},$$

$$\phi_2(k) = \pm m_{\xi_2}(\xi) = -\frac{nk^{n+2} - (n+2)k^n - 2}{2\sqrt{k^{n+2} + 1}(k^n + 1)^{3/2}}.$$

Отсюда видим, что множество (1) определено с точностью до знака t . Поскольку $u_+(t, x) = u_-(-t, x)$, множества особенностей u_+ , u_- и u совпадают. Можно видеть, что это множество представляет собой объединение аффинных конусов (2) на (t, x_1, x_2) для каждого y

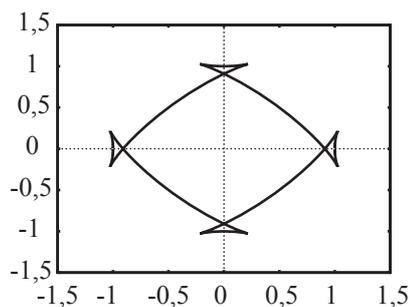


Рис. 1. Случай $n = 2$
Fig. 1. The case $n = 2$

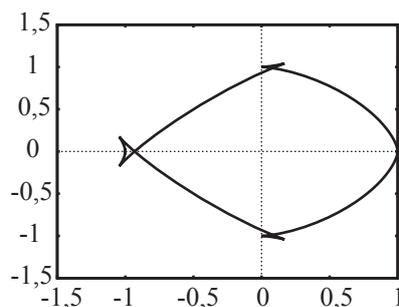


Рис. 2. Случай $n = 3$
Fig. 2. The case $n = 3$

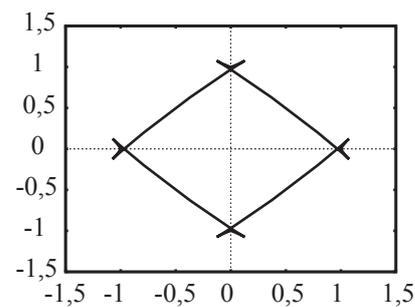


Рис. 3. Случай $n = 8$
Fig. 3. The case $n = 8$

$\in \text{sing supp } f$. На рис. 1–3 приведены сечения таких конусов плоскостью $t = 1$ при $n = 2, 3, 8$.

Библиографический список

1. Шубин, М.А. Псевдодифференциальные операторы и спектральная теория (2-е изд.) / М.А. Шубин. – М.: Добросвет, 2003. – 312 с.
2. Габов, С.А. Линейные задачи нестационарных внутренних волн / С.А. Габов, А.Г. Свешников. – М.: Наука, 1990. – 344 с.
3. Габов, С.А. Введение в теорию нелинейных волн / С.А. Габов. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 175 с.
4. Гальперн, С.А. Задача Коши для общих систем линейных уравнений с частными производными / С.А. Гальперн // Тр. ММО, 9, ГИФМЛ. – М., 1960. – С. 401–423.
5. Масленникова, В.Н. Математические вопросы гидродинамики вращающейся жидкости и системы
6. Эскин, Г.И. Задача Коши для гиперболических уравнений в свертках / Г.И. Эскин // Матем. сб. – 1967. – № 74(116):2. – С. 262–297.
7. Хермандер, Л. Анализ линейных дифференциальных операторов с частными производными. В четырех томах. т. 4: Интегральные операторы Фурье. – Перев. с англ. / Л. Хермандер. – М.: Мир, 1988. – 446 с.
8. Трев, Ф. Введение в теорию псевдодифференциальных операторов и интегральных операторов Фурье. Т. 1. Псевдодифференциальные операторы / Ф. Трев. – М.: Мир, 1984. – 360 с.
9. Трев, Ф. Введение в теорию псевдодифференциальных операторов и интегральных операторов Фурье. Т. 2. Интегральные операторы Фурье / Ф. Трев. – М.: Мир, 1984. – 400 с.
10. Тейлор, М. Псевдодифференциальные операторы / М. Тейлор. – М.: Мир, 1985. – 472 с.

SINGULARITIES OF SOLUTIONS OF QUASI-HYPERBOLIC EQUATIONS

Signalov I.E., Prof. MSFU, Ph.D. (Tech.)⁽¹⁾

caf-math@mgul.ac.ru, caf-physics@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ Moscow State Forest University, MSFU, 1, 1st Institutskaya st., Mytischki-5, Moscow reg., 141005, Russia

The article deals with the Cauchy problem for a class of quasi-hyperbolic equations, which belong to the class of equations not resolved with respect to the time derivative, which were discussed for the first time in the works of S.L. Sobolev and S.A. Halpern. The relevance of the study of these equations is the fact that the equations of this type describe the internal vibrations of a rotating fluid, and a number of other important problems in fluid mechanics. The paper studied the propagation of singularities of solutions of the Cauchy problem for examined quasi-hyperbolic equations using the theory of Fourier integral operators. The use of Fourier integral operators allows to lead pseudodifferential operators to a simpler form. The method associated with the Fourier integral operators, is widespread in the study of partial differential equations connected with problems of mathematical physics, and is called in the mathematical literature as microwave analysis. With the help of the microwave analysis we were able to identify a set on which features of the quasi-hyperbolic equations considered in this article lay. This set is the union of congruent affine cones with a complex, self-intersecting cross section. The article shows graphs of cross sections of such cones for different degrees of Laplacian.

Keywords: Cauchy problem, Fourier integral operators, microwave analysis.

References

1. Shubin M.A. *Pseudodifferential operators and spectral theory*. Moscow: Dobrosvet, 2003. p. 312.
2. Gabov S.A., Svешnikov A.G. *Lineynye zadachi nestatsionarnykh vnutrennykh voln* [Linear problems of non-stationary internal waves]. Moscow: Nauka, 1990. p. 344.
3. Gabov S.A. *Vvedenie v teoriyu nelineynykh voln* [Introduction to the theory of nonlinear waves]. Moscow: MGU [MSU Publ.], 1988. p.175.
4. Gal'pern S.A. *Zadacha Koshi dlya obshchikh sistem lineynykh uravneniy s chastnymi proizvodnymi* [The Cauchy problem for general systems of linear partial differential equations]. Tr. MМО [Transactions of the MMS], 9, GIFML. Moscow, 1960. pp. 401-423.
5. Maslennikova V.N. *Matematicheskie voprosy gidrodinamiki vrashchayushcheyasya zhidkosti i sistemy S.L. Soboleva* [Mathematical problems of hydrodynamics of rotating fluid and Sobolev systems]. Novosibirsk, 1971. p. 28.
6. Eskin G.I. *Zadacha Koshi dlya giperbolicheskikh uravneniy v svertkakh* [The Cauchy problem for hyperbolic systems in convolutions]. Matem. sb. [Sbornik: Mathematics], 74(116). 1967. p. 262-297.
7. Hörmander, Lars. *The analysis of linear partial differential operators IV*. Berlin Heidelberg New York: Springer, 2009
8. Treves, Francois. *Introduction to pseudodifferential and Fourier integral operators Vol I-II*. New York: Plenum Press, 1980.
9. Taylor, Michael E. *Pseudodifferential operators and nonlinear PDE*. Boston: Birkhäuser, 1991.

ГЕТЕРОСТРУКТУРА $Si/Si_{1-x}Ge_x$ КАК ПРИЕМНИК ИК ИЗЛУЧЕНИЯ

П.С. СЕРЕБРЕННИКОВ, доц. МГУЛ, канд. физ.-мат. наук⁽¹⁾

serebrennikov@mgu.ac.ru, physp37smat@gmail.com

⁽¹⁾ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1

Получены основные характеристики ИК приемника на основе гетероструктуры $Si/Si_{1-x}Ge_x$. Проведен расчет квантовой эффективности приемника. Найдена функция Грина диффузионного движения к гетерогранице $Si/Si_{1-x}Ge_x$ горячей дырки фотогенерированной в области сплава $Si_{1-x}Ge_x$. При движении горячей фотодырки возможно испускание оптического фона, в результате чего дырка теряет энергию, не может преодолеть потенциальный барьер на гетерогранице и не дает вклада в ток. Вероятность достижения фотодыркой гетерограницы зависит от места ее генерации, что, в свою очередь, определяется коэффициентом поглощения излучения и способом его введения: через подложку или при прямом падении излучения на область $Si_{1-x}Ge_x$. Квантовая эффективность зависит также от условия на границе $Si_{1-x}Ge_x$. Рассмотрены оба крайних случая: зеркальное отражение горячей дырки от границы и случай термализации горячей дырки на границе. В таблице приведено значение квантовой эффективности для разных длин области $Si_{1-x}Ge_x$, разных способов введения излучения и разных граничных условий на границе области $Si_{1-x}Ge_x$. Результаты отображены на рис. 2, 3. Длинноволновая граница приемника зависит как от мольной доли Ge в сплаве (x), что определяет величину разрыва верха валентной зоны при переходе от кремния к $Si_{1-x}Ge_x$, так и от уровня Ферми в сплаве. При мольной доле $Ge_x = 0,3$ разрыв верха валентной зоны при переходе от кремния к сплаву будет 0,2 э-в и при уровне Ферми 0,15 э-в потенциальный барьер для дырок получается равным 0,05 э-в. Такой потенциальный барьер соответствует длинноволновой границе 24,8 мкм. При температуре 77 °К шумовые свойства определяются флуктуациями темного тока через гетеропереход. В таблице приведены рассчитанные характеристики ИК приемника на основе гетероперехода $Si/Si_{1-x}Ge_x$.

Ключевые слова: метод функции Грина, коэффициент поглощения ИК излучения, длина области сплава кремний–германий, квантовая эффективность, длина свободного пробега относительно испускания оптических фононов.

Фотоприемники на основе эффекта Шоттки, например $PtSi/Si$, позволили создать самые большие фокальные матрицы. Малый разброс параметров между отдельными элементами многоэлементного приемника, удобство сопряжения приемников $PtSi/Si$ со схемами обработки сигнала на основе кремния определяют их преимущество перед другими приемниками ИК излучения. Длинноволновая граница зависит от высоты потенциального барьера и для $PtSi/Si$ находится в средневолновом ИК диапазоне (5–6 мкм). В 1971 г. был предложен ИК приемник на основе гетероструктуры $Si/Si_{1-x}Ge_x$ [1–11] (рис. 1). Область $Si_{1-x}Ge_x$ имеет длину L . Здесь изображено падение излучения (кривая 1) через подложку (Si). В расчетах будет рассмотрен и другой случай, когда излучение падает непосредственно на область $Si_{1-x}Ge_x$. Высоту потенциального барьера здесь можно менять, изменяя долю германия в $Si_{1-x}Ge_x$ сплаве (x). С увеличением доли Ge разрыв верха валентной зоны между сплавом $Si_{1-x}Ge_x$ и Si , который и является потенциальным барьером для дырок, увеличивается. Поглощение ИК излучения происходит на дырках и для увеличения поглощения производится вырожденное

легирование области $Si_{1-x}Ge_x$. Изменение степени легирования изменяет уровень Ферми в $Si_{1-x}Ge_x$ и, следовательно, высоту потенциального барьера ϕ_b . Высота потенциального барьера равна $\Delta E_v - E_F$, здесь ΔE_v – разрыв верха валентной зоны при переходе от $Si_{1-x}Ge_x$ к Si , а E_F – уровень Ферми относительно верха валентной зоны. Дырки в области $Si_{1-x}Ge_x$, поглощая ИК фотон, приобретают энергию,

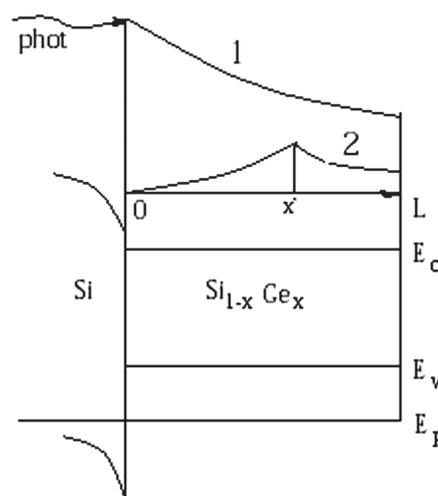


Рис. 1. Зонная диаграмма гетероструктуры $Si/SiGe$ и функция Грина

Fig. 1. The band diagram of the heterostructure $Si/SiGe$ and the Green's function

достаточную для преодоления потенциально-го барьера. Горячие дырки могут испустить оптический фонон при диффузионном движении к гетеропереходу $Si/Si_{1-x}Ge_x$. Испустив оптический фонон, дырка теряет энергию и не может уже преодолеть потенциальный барьер и дать вклад в ток. Для определения таких важнейших характеристик ИК приемников, как квантовая эффективность и фоточувствительность, необходимо рассмотреть процессы поглощения ИК излучения дырками и диффузионное движение горячих фото-дырок к границе гетероперехода $Si/Si_{1-x}Ge_x$.

Концентрация фотодырок подчиняется уравнению

$$D_p \frac{d^2}{dx^2} \Delta p - \frac{\Delta p}{\tau_e} + g = 0,$$

где D_p – коэффициент диффузии горячих дырок;

τ_e – время пробега горячих дырок относительно испускания оптических фононов;

g – скорость генерации горячих дырок ИК излучением.

Скорость генерации записывается в виде $g = s_0 \alpha e^{-\alpha x}$ при падении излучения через подложку и $g = s_0 \alpha e^{\alpha(x-L)}$ при прямом падении излучения на область $Si/Si_{1-x}Ge_x$. (α – коэффициент поглощения излучения, s_0 – плотность излучения на границе, $x = 0$ – гетерограница).

Граничные условия на $\Delta p(x)$: $\Delta p(0) = 0$ (горячие дырки, достигшие гетерограницу, уходят в Si) и $\Delta p'(L) = 0$ (горячие дырки отражаются от границы области $Si_{1-x}Ge_x$ и поэтому поток на границу области равен 0). Уравнение для функции Грина (функции влияния точечного источника) (рис. 1 кривая 2) имеет вид

$$\left(D_p \frac{d^2}{dx^2} - \frac{1}{\tau_e} \right) G(x, x') = -\delta(x-x')$$

Граничные условия для функции Грина будут равны соответственно

$$G(x, x')|_{x=0} = 0 \quad G'(x, x')|_{x=L} = 0$$

С учетом приведенных граничных условий и принимая во внимание равенство $D_p G'(x, x')|_{x=0}^{x'+0} = -1$, получаем функцию Грина

$$G(x, x') = \sqrt{\frac{\tau_e}{D_p}} \frac{ch\chi(x'-L)}{ch\chi L} \times \left[\theta(x'-x) sh\chi x + \theta(x-x') \frac{sh\chi x' ch\chi(x-L)}{ch\chi(x'-L)} \right]$$

где sh, ch – гиперболические синус и косинус;

$$\chi = \frac{1}{\sqrt{D_p \tau_e}}.$$

Плотность горячих дырок и их поток через гетерограницу выражаются через функцию Грина

$$\Delta p(x) = \int_0^L G(x, x') g(x') dx'$$

$$I_p = -D_p \frac{d}{dx} \Delta p(x)|_{x=0}$$

С помощью найденной функции Грина получаем вероятность поглощения фотона с энергией большей пороговой энергии и достижения горячей дырки гетерограницы в виде

$$W_1 = \frac{\alpha}{ch\chi L} \int_0^L ch\chi(x'-L) e^{-\alpha x'} dx'$$

Эта вероятность написана для случая падения излучения через подложку. Соответствующая вероятность при прямом падении будет

$$W_2 = \frac{\alpha}{ch\chi L} \int_0^L ch\chi(x'-L) e^{\alpha(x'-L)} dx'$$

До сих пор считалось, что на границе области $Si_{1-x}Ge_x$ горячие дырки зеркально отражаются. Это является наиболее благоприятным случаем. Худшим случаем будет случай термализации горячих дырок на границе области $Si_{1-x}Ge_x$, когда горячая дырка испускает оптический фонон на границе, теряет свою энергию и не дает вклада в фототок, т. к. не может преодолеть потенциальный барьер на гетерогранице. Этот случай отвечает граничному условию $\Delta p(L) = 0$ ($G(x, x')|_{x=L} = 0$). Решаем опять дифференциальное уравнение для функции Грина для этих граничных условий ($G(x, x')|_{x=0} = G(x, x')|_{x=L} = 0$). По найденной функции Грина находим вероятность поглощения фотона с энергией большей пороговой энергии и достижения горячей дырки гетерограницы для случая падения излучения через подложку W_3 и при прямом падении W_4

$$W_3 = \frac{\alpha}{sh\chi L} \int_0^L sh\chi(L-x') e^{-\alpha x'} dx'$$

$$W_4 = \frac{\alpha}{sh\chi L} \int_0^L sh\chi(L-x') e^{\alpha(x'-L)} dx'.$$

Зависимость квантовой эффективности от коэффициента поглощения излучения, длины области $Si_{1-x}Ge_x$ и способа введения излучения
The dependence of the quantum efficiency of the light absorption coefficient, the length of the $Si_{1-x}Ge_x$ and field emission method of administration

	10 нм	15 нм	20 нм	25 нм	30 нм	35 нм	40 нм
W_{11}	0,044	0,052	0,055	0,056	0,057	0,057	0,057
W_{12}	0,14	0,16	0,167	0,168	0,168	0,168	0,167
W_{21}	0,044	0,052	0,054	0,054	0,053	0,051	0,05
W_{22}	0,137	0,153	0,151	0,143	0,132	0,121	0,111
W_{31}	0,027	0,037	0,044	0,049	0,052	0,054	0,055
W_{32}	0,087	0,116	0,136	0,15	0,156	0,161	0,163
W_{41}	0,027	0,036	0,042	0,046	0,048	0,048	0,048
W_{42}	0,08	0,104	0,115	0,12	0,117	0,112	0,105

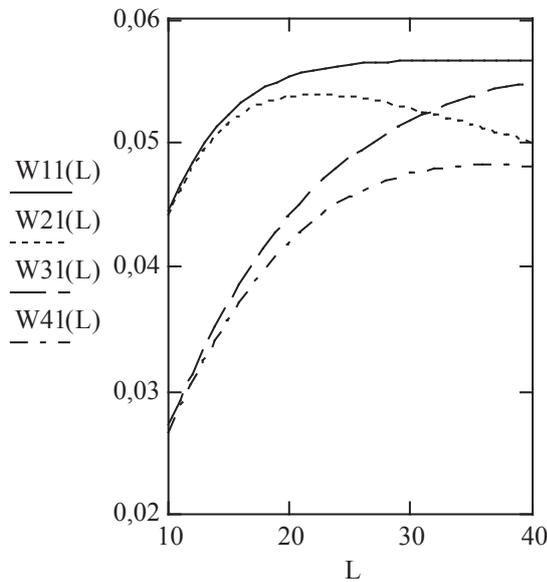


Рис. 2. Зависимость коэффициентов W_{11} , W_{21} , W_{31} , W_{41} от длины области $Si_{1-x}Ge_x$ Коэффициент поглощения $\alpha = 6 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$
 Fig. 2. Dependence coefficients W_{11} , W_{21} , W_{31} , W_{41} of length field of $Si_{1-x}Ge_x$ absorption coefficient $\alpha = 6 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$

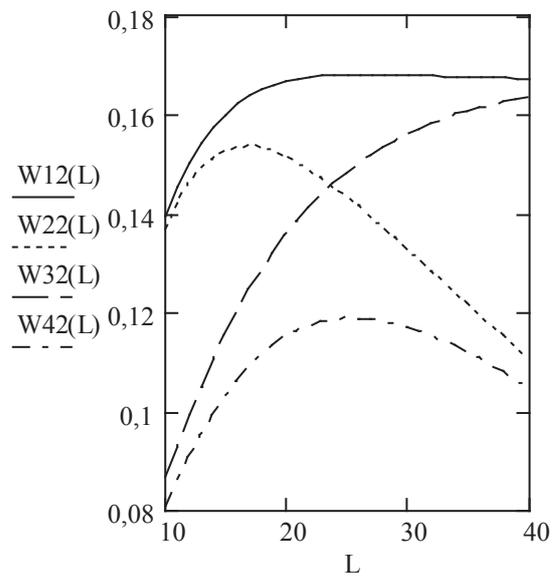


Рис. 3. Зависимость коэффициентов W_{12} , W_{22} , W_{32} , W_{42} от длины области $Si_{1-x}Ge_x$ Коэффициент поглощения $\alpha = 2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-1}$
 Fig. 3. The dependence of the coefficients W_{12} , W_{22} , W_{32} , W_{42} of the length of the field $Si_{1-x}Ge_x$ absorption coefficient $\alpha = 2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-1}$

В табл. 1 и на рис. 2 и 3 представлены результаты расчетов функции $Wi(L)$ для двух значений коэффициентов поглощения излучения $\alpha = 6 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$ и $\alpha = 2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-1}$ (соответствующие вероятности имеют дополнительные индексы 1 и 2 соответственно); длина пробега горячей дырки относительно испускания оптического фона $l_e = \sqrt{D_p \tau_e}$ принята равной $l_e = 10 \text{ нм}$. Видна сильная зависимость квантовой эффективности прежде всего от коэффициента поглощения излучения, а, следовательно, от легирования области $Si_{1-x}Ge_x$. При большом коэффициенте поглощения и вводе

излучения через подложку квантовая эффективность выходит на насыщение уже при небольших длинах области $Si_{1-x}Ge_x$. При прямом вводе квантовая эффективность меньше и начинает убывать при больших длинах L . Как и следовало ожидать, при термализации дырок на границе области $Si_{1-x}Ge_x$ квантовая эффективность уменьшается.

Наглядное изображение рассмотренных зависимостей дается на рис. 2 и 3.

Вероятность поглощения ИК фотона и достижения горячей дырки гетерограницы определяют такую важнейшую характе-

Характеристики ИК приемника на основе гетероструктуры $Si/Si_{1-x}Ge_x$
Features IR receiver on the basis of heterostructures $Si/Si_{1-x}Ge_x$

λ_0 , мкм	α , см ⁻¹	R_s , АВТ ⁻¹	In , нАсм ⁻¹ Гц ^{-0.5}	D^* , смГц ^{0.5} ВТ ⁻¹
24,8	$6 \cdot 10^4$	0,46	2,12	$2,17 \cdot 10^8$
24,8	$2 \cdot 10^5$	1,35	2,12	$6,37 \cdot 10^8$

ристику, как квантовая эффективность. Из результатов расчета следует, что квантовая эффективность сильно зависит от коэффициентов поглощения и максимальна при вводе излучения через подложку. При приеме слабых сигналов важны шумовые характеристики приемника. Считая $\Delta E_v = 0,2$ э-в при $x = 0,3$ и $E_F = 0,15$ э-в [2], получаем длинноволновую границу $\lambda_0 = 1,24 / 0,05 = 24,8$ мкм. При рабочей температуре 77 °К шумовые свойства определяются флуктуациями темного тока.

При более низких температурах можно выйти на режим ограничения флуктуациями фона. Используя константу Ричардсона $4.4 \text{ Асм}^{-2} \cdot \text{К}^{-2}$ [2], получаем плотность темного тока при $T = 77^\circ$ и $\lambda_0 = 24,8$ мкм $I_d = 14 \text{ Асм}^{-2}$. Характеристики ИК приемника для двух значений коэффициентов поглощения сведены в табл. 2.

Библиографический список / References

1. Shepherd, F.D., Vickers, V.E. and Yang, A.C., "Schottky-Barrier Photodiode with a Degenerate Semiconductor Active Region", U.S. Patent N 3603847, September 7, 1971.
2. Lin, T.L., Park, J.S., Gunapala, S.D., Jones, E.W., Del Castillo, H.M., $Si_{1-x}Ge_x / Si$ heterojunction infrared photoemission long wavelength infrared detector. Proc. SPIE, Vol.2274. 1994 P. 17-23.
3. Tsaur, B-Y., Chen, C.K., Marino, S.A., Long-wavelength $Si_{1-x}Ge_x / Si$ heterojunction infrared detectors and focal plane arrays. Proc. SPIE, Vol.1540. 1991 P. 580-595.
4. Miesner, C., Asperger, T., Brunner, K., Abstreiter, G., Capacitance-voltage and admittance spectroscopy of self-assembled Ge islands in Si. Appl. Phys. Lett. Vol. 77. 2000, pp. 2704-2706.
5. Brunner, K., Si/Ge nanostructures. Rep. Prog. Phys. Vol. 65. 2000, P. 27-72.
6. Philips, J., Evaluation of the fundamental properties of quantum detectors. J. Appl. Phys. Vol. 91, 2002, pp. 4590-4594.
7. Dvurechenskii, A.V., Nikiforov, A.I., Bloshkin, A.A., Nenashev, A.V., Volodin, V.A., Electronic states in Si / Ge quantum dots with type-II band alignment. Physical Review B., Vol.73,2006, pp. 115– 121.
8. Wang, K.L., Cha, D., Liu, J., Chen, C., Ge/Si self-assembled quantum dots and their optoelectronic device applications. Proc. of the IEEE, Vol.95, 2007, pp. 1866-1882.
9. Li, X., Xu, W., Cao, S., Cai, Q., Lu, F. Admittance spectroscopy of GeSi-based quantum dot systems: Experiment and Theory. Physical Review B., Vol. 76, 2007, pp. 245-257.
10. Yakimov, A.I. Ge/Si heterostructures with Ge quantum dots for mid-infrared photodiode detectors. Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing Vol. 49, 2013, pp. 467-475.
11. Lozovoy, K.A., Voytsekhovskiy, A.V., Kokhanenko, A.P., Satarov, V.G., Phelyakov, O.P., Nikiforov, A.I., Heterostructures with self-organized quantum dots of Ge on Si for optoelectronic devices. Opto-Electronics Review Vol.22, 2014, pp. 171-177.

HETEROSTRUCTURE $Si/Si_{1-x}Ge_x$ IR DETECTOR

Serebrennikov P.S., Assoc. Prof. MSFU, Ph.D. (Tech.)⁽¹⁾

serebrennikov@mgul.ac.ru, physp37smat@gmail.com

⁽¹⁾ Moscow State Forest University, MSFU, 1, 1st Institutskaya st., Mytischki-5, Moscow reg., 141005, Russia

The basic characteristics of heterostructure $Si/Si_{1-x}Ge_x$ IR detector are obtained. Detector quantum efficiency calculation is carried out. Hot holes generated in $Si_{1-x}Ge_x$ region diffuse towards heterojunction $Si/Si_{1-x}Ge_x$. Diffusion motion of hot holes Green function is determined. Hot photohole can emit optical phonon hereupon it loses energy, cannot overcome the potential barrier and does not contribute to the electrical current. The probability of hot photohole achievement of heterojunction depends on the place of its generation, which in turn is determined by the radiation absorption coefficient and method of illumination: front side illumination or backside (through the substrate). The quantum efficiency also depends on the boundary condition at the boundary $Si_{1-x}Ge_x$. Both extreme cases are considered: a specular reflection of the hot holes and thermalization of hot holes at the boundary that is hot holes die on boundary. The quantum efficiency for different lengths of $Si_{1-x}Ge_x$ region, different methods of illumination and different boundary conditions on the boundary $Si_{1-x}Ge_x$ are given in the table. The results are also shown in Fig. 2,3. Cutoff wavelength of the detector depends both on the mole fraction of Ge in the alloy (x) that determines top valence gap between Si and $Si_{1-x}Ge_x$ and Fermi level in the alloy. When the Ge mole fraction is equal $x = 0.3$ top valence gap between Si and $Si_{1-x}Ge_x$ is 0.2 eV and if the Fermi level is 0.15 eV potential barrier for holes is equal to 0.05 eV. This potential barrier corresponds to cutoff wavelength 24.8 μm . At a temperature of 77°K noise properties are determined by the dark current fluctuations. The table shows the calculated characteristics of heterostructure $Si/Si_{1-x}Ge_x$ IR detector.

Keywords: Method of Green function, absorption coefficient of IR radiation, quantum efficiency, thickness of alloy silicon – germanium layer, inelastic mean free path.

УДК 687.586.5

МЕТОДИКА И АППАРАТУРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛОВ С КУБИЧЕСКОЙ СИММЕТРИЕЙ $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ И $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$

В.Д. БУРКОВ, *проф. МГУЛ, д-р техн. наук⁽¹⁾*,А.Н. ДЕМИН, *аспирант МГУЛ⁽¹⁾*,Н.А. ХАРИТОНОВ, *ст. науч. сотрудник МГУЛ, канд. техн. наук⁽¹⁾**burkov@mgu.ac.ru*⁽¹⁾ФГБОУ ВО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1

В настоящее время для измерения электрических токов все более широкое применение получают волоконно-оптические датчики электрического тока (ВОДТ). Из существующих оптических схем таких датчиков на активных кристаллах с кубической симметрией $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ и $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ предпочтительной является оптическая схема однопроходного типа. Данная схема при относительной простоте реализации позволяет эффективно оптимизировать габаритно-весовые характеристики в сочетании с достаточно высокими в целом метрологическими характеристиками. Однако такие датчики без дополнительных усовершенствований могут обладать существенной температурной погрешностью измерения, достигающей до 10–25 % в диапазоне температур 0–100 °С. Для ее исследования и корректировки необходимо применение специальной программно-аппаратной установки. Сформулированы методические и инструментальные требования к такой установке. Показано, что для исследования температурных характеристик датчиков с суммарной допустимой погрешностью порядка 0,2 % в диапазоне температур 0–100 °С необходимо иметь стабильность параметров установки (температуры, магнитного поля, соответствующего протекающему электрическому току, выходного сигнала фотоприемника) по крайней мере, не хуже чем 10^{-4} в течение всего времени проведения измерения, которое продолжается 1,4–1,5 часа. Предложено конструктивное решение установки с измерением коэффициентов преобразования чувствительных элементов ВОДТ и их температурных зависимостей с регистрацией и обработкой информации в режиме реального времени трех величин: полезного сигнала с фотоприемника, пропорционального интенсивности падающего на него излучения измерения; величины электрического тока в солениоде с протекающим электрическим током; напряжения на датчике температуры. Подтверждено, что методика и установка позволяют проводить измерение дрейфов коэффициента преобразования чувствительного элемента датчиков с точностью 0,1 % в диапазоне температур до 100 °С. Проведенные измерения и исследования температурных зависимостей коэффициента преобразования чувствительного элемента ВОДТ на основе кристаллов $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ и $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ показали, что теоретически и практически достижимой является дополнительная температурная погрешность 0,4 %.

Ключевые слова: волоконно-оптический датчик тока, измерительный стенд, основная погрешность, дополнительная погрешность, температурная нестабильность.

В настоящее время для измерения электрических токов все более широкое применение получают волоконно-оптические датчики электрического тока (ВОДТ) [1]. Из существующих оптических схем таких датчиков на активных кристаллах с кубической симметрией $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ и $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ предпочтительной с точки зрения минимизации габаритно-весовых характеристик является схема однопроходного типа. Данная схема, которая при относительной простоте реализации позволяет наиболее просто оптимизировать требования по минимально весовым характеристикам в сочетании с достаточно высокими метрологическими характеристиками [1–5].

Однако, как показала практика, однопроходные датчики без дополни-

тельных усовершенствований обладают достаточно высокой дополнительной температурной погрешностью измерения, достигающей до 10–25 % в диапазоне температур 0–100 °С [6–8].

Для того, чтобы производить экспериментальную оценку температурных дрейфов таких датчиков, необходимо использование специальной методики и аппаратуры.

Методика измерения температурных дрейфов

Согласно [8,9,10], величина температурного дрейфа коэффициента преобразования ВОДТ (или коэффициента модуляции), которые необходимо будет измерять для определения температурных характеристик,

составляют величину порядка 0,2 % от величины изменения полезного сигнала в диапазоне температур 0–100°C. Поэтому для обеспечения требуемой точности измерений необходимо иметь стабильность всех измеряемых величин (температуры, магнитного поля, соответствующего протекающему электрическому току, выходного сигнала фотоприемника) по крайней мере, не хуже чем 10^{-4} в течение всего времени проведения измерения, которое продолжается 1,4–1,5 часа. Очевидно, что даже в лабораторных условиях обеспечить такие условия достаточно трудно и, кроме этого, дорого. В связи с этим предлагается методика измерений и установка, позволяющие получить необходимые точности измерений путем одновременной регистрации всех сигналов и соответствующей обработки.

Методика проведения

Для измерения коэффициентов преобразования чувствительных элементов ВОДТ и их температурных зависимостей нужно одновременно с необходимой точностью регистрировать три величины:

- полезный сигнал с фотоприемника, пропорциональный интенсивности падающего на него излучения измерения;
- величину электрического тока в соленоиде, создающем магнитное поле;
- напряжение на датчике температуры.

Интенсивность света, проходящего через чувствительный элемент и падающего на фотоприемное устройство, представляется в виде [6, 10]

$$I = \frac{1}{2} I_0 [1 - SH] = \frac{1}{2} I_0 (1 - m),$$

где I_0 – амплитудное значение протекающего электрического тока

I – измеряемое значение протекающего электрического тока,

$m = SH$ – глубина модуляции света магнитным полем $H = H_0 \cos \omega t$,

S – коэффициент преобразования чувствительного элемента

$$\left(S = \frac{dI}{dH} \Big|_{H=0} \right).$$

Фактически для измерения S необходимо измерять глубину модуляции m и величину амплитуды магнитного поля H_0 при определенных температурах.

При изменении переменных магнитных полей напряжение сигнала на выходе фотоприемника $U_c \sim I = 0,5 I_0 (1 + SH_0 \cos \omega t)$. После выделения переменной составляющей $U_{\sim} \sim 0,5 I_0 SH_0 \cos \omega t$. Следовательно,

$$S(t) \sim \frac{2U_{\sim}(t)}{I_0 H_0(t)}.$$

Очевидно, производя запись серии данных $U_{\sim}(t)$, $H_0(t)$ и температуры t , можно точно определить относительные изменения ΔS от температуры. Если мощность излучения в тракте достаточно велика (отношение сигнал/шум на фотоприемнике $>10^3$), то основным источником погрешности при измерениях являются флуктуации мощности излучения источника. Флуктуации источника должны быть минимальными. Таким требованиям в настоящее время наиболее полно удовлетворяют полупроводниковые суперлюминисцентные светодиоды, обеспечивающие ввод в многомодовое волокно световой мощности до 10^{-3} Вт при относительной стабильности не хуже, чем 10^{-4} Вт.

Таким образом, методика измерения коэффициента преобразования ВОДТ в зависимости от температуры основывается на одновременном измерении 3 сигналов: сигнала с фотоприемного устройства; сигнала, пропорционального величине магнитного поля; сигнала температурного датчика.

Эти сигналы должны записываться в память и заноситься в ЭВМ с помощью специального интерфейса в течение всего периода измерений. После окончания измерений на ЭВМ проводится обработка их результатов. Точность (погрешность) измерений должна составлять 0,1 %.

Описание автоматизированной установки для проверки температурных характеристик ВОДТ

Для проведения экспериментов по описанной методике была разработана установка, блок-схема которой приведена на рис. 1.

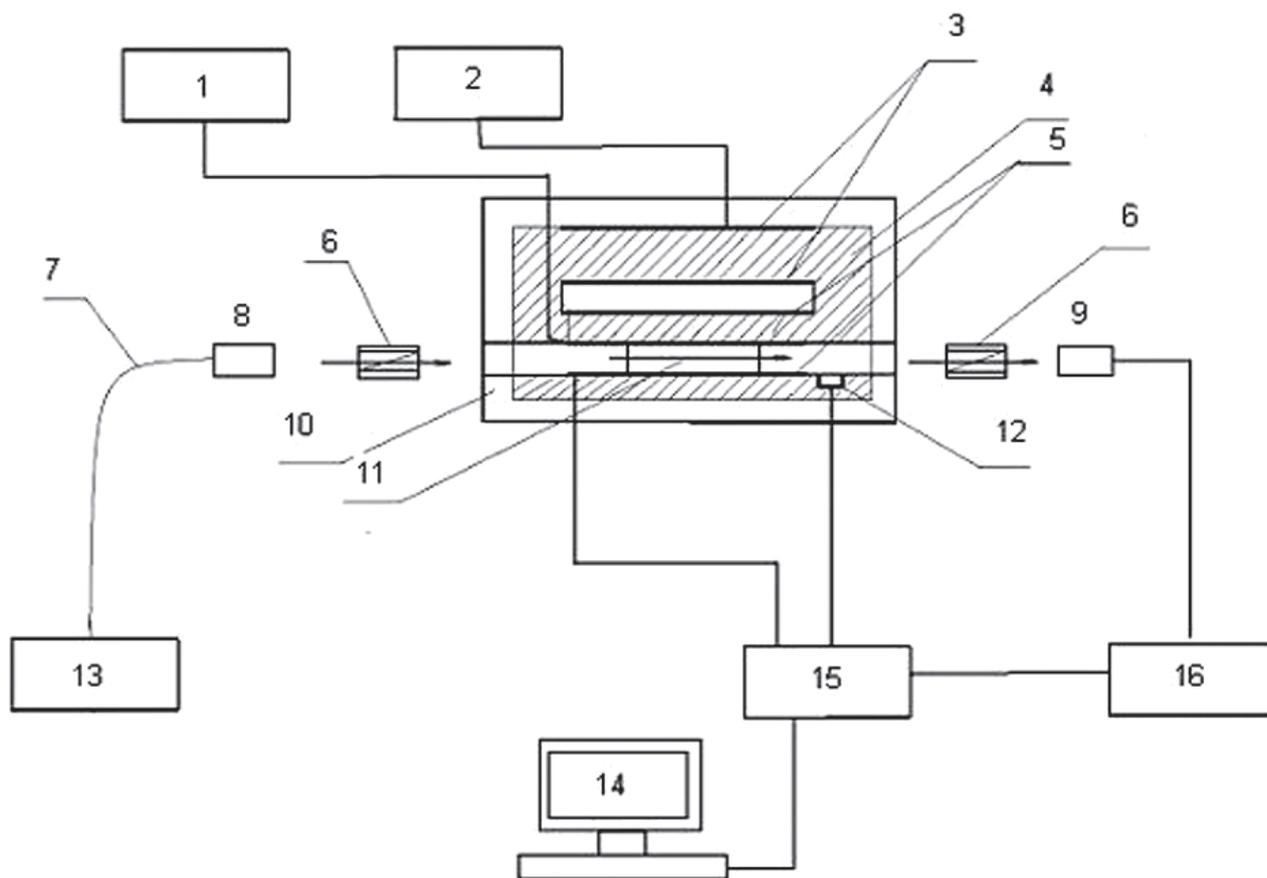


Рис. 1. Автоматизированная установка для проверки температурных характеристик ВОДТ
 Fig. 1. An automated system for checking the temperature characteristics of water

При проведении измерений чувствительный элемент (ЧЭ) 11 ВОДТ размещается в оправе 4 из немагнитного материала, являющейся также теплопроводом.

На плечо оправы 4, заключающее в себе ЧЭ 11, намотан соленоид 5. Магнитное поле в соленоиде 5 создается при помощи генератора переменного тока 1. На другом плече оправы/теплопровода смонтирован нагревательный элемент 3, представляющий собой вольфрамовую спираль. Нагревательный элемент позволяет менять температуру системы от комнатной до +110 °С. Для питания нагревателя используется источник постоянного тока 2. Для измерения температуры используется миниатюрный датчик 12 температуры. С целью обеспечения равномерности прогрева вся система заключена в теплоизолирующий кожух 10. Оптическая часть установки состоит из отрезка многомодового световода 7 с диаметром ведущей жилы 65 мкм, входного коллиматора 8,

представляющего собой короткофокусную линзу, закрепленную на трехкоординатной юстировке, двух призмных поляризаторов 6, закрепленных на угловых юстировках, исследуемого кристалла 11, фотоприемника 9 и источника излучения 13. Входной торец световода снабжен оптическим разъемом стандарта ST, что позволяет подключать различные источники излучения.

При проведении измерений были использованы три источника излучения: полупроводниковый лазер из комплекта ОМКЗ-76, He-Ne лазер и полупроводниковый светодиод с внутренней стабилизацией мощности излучения по обратной связи. Видимое излучение He-Ne лазера также использовалось для юстировки оптической схемы. Излучение на выходе системы регистрировалось при помощи измерителя оптической мощности 9 или дополнительного фотоприемника. Сигнал с измерителя оптической мощности подавался на усили-

тель 16 и далее был выведен на компьютер 14 через интерфейс связи с компьютером 15. С помощью интерфейса 15 на компьютер 14 также подаются сигнал датчика температуры 12 и сигнал величины тока в соленоиде 5.

Погрешности измерения коэффициента магнитооптической модуляции в данной схеме определяются стабильностью мощности излучения источника, флуктуациями потерь в оптическом тракте и флуктуациями чувствительности фотоприемного устройства. При этом очевидно, что основным источником являются флуктуации и дрей-

фы мощности источника излучения, так как в нормальных условиях они существенно превышают флуктуации потерь в тракте и флуктуации чувствительности фотоприемника. Кроме этого, на результаты измерений могут влиять флуктуации и дрейфы в канале измерения температуры, а также дрейфы величины электрического тока модулирующего соленоида, определяющего величину магнитного поля.

С целью исключения дрейфов и флуктуации в этих каналах был разработан и включен в установку блок 15 интерфейса сопряжения с персональным компьютером. Блок интерфейса сопряжения автоматически, с интервалом в 20 секунд производил измерения сигналов по трем каналам (сигнал с фотоприемника, сигнал пропорциональный величине тока в соленоиде и сигнал с датчика температуры), длительность цикла измерения всех трех сигналов составляла – 150 мс. Полученные данные затем преобразовывались в цифровой вид и сохранялись в памяти прибора. По окончании измерений данные вводились в компьютер через стандартный интерфейс RS-232. Дальнейшая обработка файла данных производилась с помощью пакета математических программ MathCad.

Создание интерфейса сопряжения позволило автоматизировать процесс измерений и повысить их точность и достоверность.

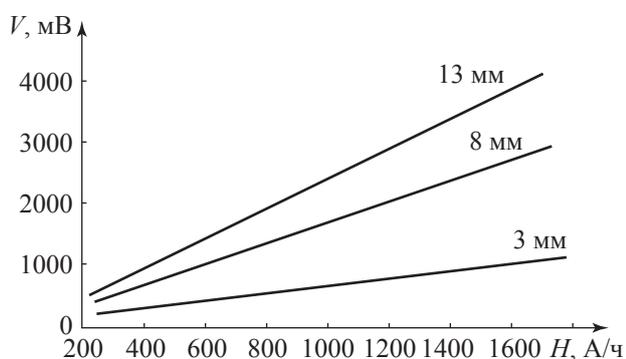


Рис. 2. Зависимость напряжения на выходе фотоприемного устройства от напряженности магнитного поля в соленоиде для кристаллов длиной $L = 3$ мм, $L = 8$ мм, $L = 13$ мм

Fig. 2. Dependence of the voltage at the output from the photodetector of the magnetic field in the solenoid for crystal length $L = 3$ mm, $L = 8$ mm, $L = 13$ mm

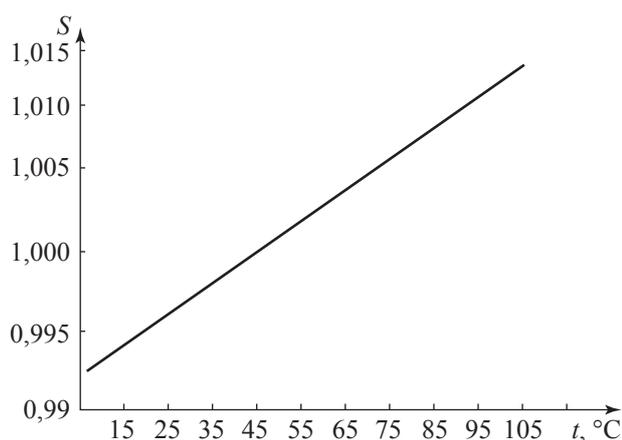


Рис. 3. Зависимость коэффициента преобразования от температуры для значения угла $\Theta L + \alpha = 45^\circ$ и $L = 3$ мм

Fig. 3. The dependence of the conversion ratio from the temperature values of the angle $\Theta L + \alpha = 45^\circ$ and $L = 3$ mm

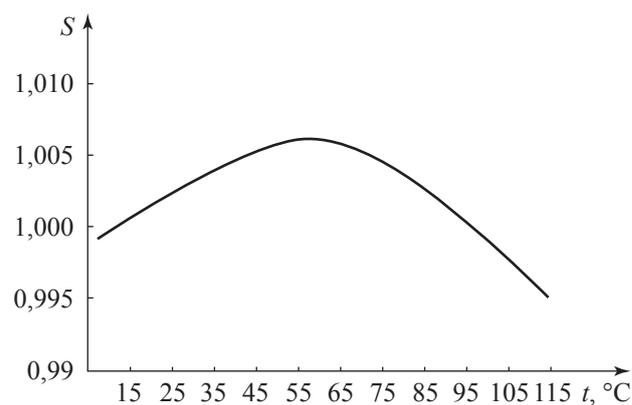


Рис. 4. Зависимость коэффициента преобразования от температуры для значения угла $\Theta L + \alpha = 45^\circ - 5^\circ$ и $L = 8$ мм

Fig. 4. Dependence of the conversion of the temperature coefficient for the angle $\Theta L + \alpha = 45^\circ - 5^\circ$ and $L = 8$ mm

Результаты измерений температурной погрешности ЧЭ ВОДТ

На рис. 2 представлены зависимости напряжения на выходе фотоприемного устройства от напряженности магнитного поля для кристаллов длиной $L = 3$ мм, $L = 8$ мм, $L = 13$ мм. Напряженность магнитного поля получена по формуле $H = n i$, где $n = N/l$ – количество витков на единицу длины, i – ток в соленоиде. Данная формула применима для случая, когда длина соленоида больше его диаметра.

Как видно из графиков, для всех трех длин кристаллов зависимости представляют собой прямые.

На рис. 3 приведена температурная характеристика ЧЭ, поляризаторы которого сориентированы так, что $\Theta L + \alpha = 45^\circ$, что соответствует максимальному значению коэффициента преобразования для выбранной длины кристалла чувствительного элемента. В этом случае температурный дрейф коэффициента преобразования определяется только температурной зависимостью константы Верде материала и составляет 1,5 % на 100 °С.

Зависимость на рис. 4 получена при угле $\Theta L + \alpha = 45^\circ - 5^\circ$. В этом случае температурные дрейфы константы Верде и коэффициент оптической активности почти компенсируют друг друга. Температурный дрейф коэффициента преобразования составляет порядка 0,4 % на 100 °С.

Заключение

1. В настоящее время для измерения электрических токов в связи с наличием уникальных свойств всё более широкое применение получают волоконно-оптические датчики электрического тока на активных кристаллах с кубической симметрией $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ и $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$.

2. Одной из наиболее перспективных оптических схем датчиков является однопроходная схема. Однако она обладает достаточно высокой температурной нестабильностью. Для ее исследования и корректировки необходимо применение спе-

циальных аппаратно-программных средств с последующим использованием дополнительных технических приемов в конструкции датчика.

3. Для исследования температурной погрешности таких датчиков предложены методика и установка, которые позволяют проводить измерение дрейфов коэффициента преобразования чувствительного элемента датчиков с точностью 0,1 % в диапазоне температур от 20 до 120 °С.

4. Проведенные измерения и исследования температурных зависимостей коэффициента преобразования ЧЭ ВОДТ на основе кристаллов $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ показали, что теоретически и практически достижимой является дополнительная температурная погрешность 0,4 %.

Библиографический список

1. Бурков, В.Д. Научные основы создания устройств и систем волоконно-оптической техники / В.Д. Бурков, Г.А. Иванов. – М.: МГУЛ, 2008. – 232 с.
2. Фрайден, Дж. Современные датчики / Дж. Фрайден. – М.: Техносфера, 2006. – 592 с.
3. Бурков, В.Д. Анализ и выбор оптимальной системы волоконно-оптического датчика электрического тока / В.Д. Бурков, Н.А. Харитонов, А.Н. Демин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 2. – 2014. – С. 127–133.
4. Бурков, В.Д. Миниатюрный волоконно-оптический датчик электрического тока / В.Д. Бурков, А.Н. Демин // Сб. научных статей аспирантов и докторантов МГУЛ, 2013. – С. 31.–39.
5. Бурков, В.Д. Экоинформатика: Алгоритмы, методы и технологии: монография / В.Д. Бурков, В.Ф. Крапивин. – М.: МГУЛ, 2009. – 428с.
6. Бурков, В.Д. Теория, расчет и проектирование приборов и систем: лабораторный практикум / В.Д. Бурков, В.Т. Потапов, Т.В. Потапов и др. – М.: МГУЛ, 2010. – 88 с.
7. Бабаев, О.Г. Методика исследования магнитооптического эффекта в кристаллах BSO для датчика магнитного поля / О.Г. Бабаев, С.А. Матюнин, Г.И. Леонович // Фотон-экспресс. – № 6 – 2013. – С. 66–67.
8. Потапов, Т.В. Экспериментальное исследование температурной стабильности датчиков магнитного поля на основе кристаллов $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ / Т.В. Потапов // Письма в ЖТФ. – 1998. – Т. 24. – № 11. – С. 26–31.
9. Бурков, В.Д. Лабораторный комплекс «Математическое моделирование чувствительного элемента волоконно-оптического датчика магнитного поля и электрического тока» / В.Д. Бурков, В.Т. Потапов, С.И. Чумаченко и др. // Свидетельство ОФАП об отраслевой регистрации разработки МГУЛ № 2562 от 17.06.2003.
10. Бурков, В.Д. Теория, расчет и проектирование волоконно-оптических приборов и систем: практикум / В.Д. Бурков, В.Т. Потапов. – М.: МГУЛ, 2011. – 55 с.

METHOD AND APPARATUS FOR CONTROL OF METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF FIBER-OPTICAL SENSORS OF ELECTRIC CURRENT ON THE BASIS OF CRYSTALS WITH CUBIC SYMMETRY $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ AND $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$

Burkov V.D., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾; **Damin A.N.**, pg. MSFU ⁽¹⁾; **Kharitonov N.A.**, MSFU, Ph. D. (Tech.)⁽¹⁾

burkov@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ Moscow State Forest University, MSFU, 1, 1st Institutskaya st., Mytishi-5, Moscow reg., 141005, Russia

At the present time for measurement of electric currents, the increasing application receive fiber-optic sensors of electric current (VADT). Existing optical schemes of these sensors are in an active crystals with cubic symmetry $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ and $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ preferred is an optical diagram of a single-pass type. This scheme with relative ease of implementation allows to efficiently optimize the dimensions and weight characteristics combined with a fairly high overall metrological characteristics. However, such sensors without additional enhancements can be of significant temperature measurement error of up to 10–25 % in the temperature range 0–100 °C. For her research and adjustments necessary to use special hardware and software installation. The methodological and instrumental requirements for such an installation. It is shown that to study the temperature characteristics of the sensors with a total allowable error of about 0.2 % in the temperature range 0–100°C, it is necessary to have stability of the setup parameters (temperature, magnetic field, corresponding to flowing electric current, the output signal of the photodetector) at least not worse than 10⁻⁴ during the whole time of the measurement, which lasts from 1.4 to 1.5 hours. Proposed constructive solution of the installation with the measurement of conversion factors are sensitive elements of VOGT and their temperature dependence with the registration and processing of information in real time of the three values: the desired signal from the photodetector proportional to the intensity of the incident radiation measurement; the value of the electric current in the solenoid is flowing with electric current; the voltage on the temperature sensor. It is confirmed that the method and installation allow measurement drifts of the conversion factor of the sensing element of sensors with 0.1 % accuracy in the temperature range up to 100 °C. Measurements and study the temperature dependency of the conversion factor of the sensitive element of VOT on the basis of $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ and $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ crystals showed that it is theoretically and practically achievable is an additional temperature error of 0.4 %.

Keywords: fiber-optic current sensor, measuring stand, basic error, an additional error of temperature instability.

References

1. Burkov, V.D., Ivanov G.A. *Nauchnye osnovy sozdaniya ustroystv i sistem volokonno-opticheskoy tekhniki* [Scientific basis for the creation of devices and systems fiber-optic equipment]. Moscow, MSFU, 2008. 232 p.
2. Friden J. *Modern sensors..* Moscow, Technosphere, 2006. 592 p.
3. Burkov V.D., Kharitonov N.A., Demin A.N. *Analiz i vybor optimal'noy sistemy volokonno-opticheskogo datchika elektricheskogo toka* [Analysis and selection of optimal system of fiber-optic electric current sensor]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik.– No. 2. 2014. pp. 127-133.
4. Burkov, V.D., Demin A.N. *Miniaturnyy volokonno-opticheskiy datchik elektricheskogo toka* [Miniature fiber-optic electric current sensor]. Proc. scientific articles of postgraduates and doctoral candidates of Economics, 2013. pp. 31-39.
5. Burkov V.D., Krapivin V.F. *Ekoinformatika: Algoritmy, metody i tekhnologii* [Ecoinformatics: Algorithms, methods and technologies]. Moscow: MSFU, 2009. 428 p.
6. Burkov V.D., Potapov V.T., Potapov T.V., Udalov M.E. *Teoriya, raschet i proektirovanie priborov i sistem* [The theory, calculation and design of devices and systems]. Moscow: MSFU, 2010. 88 p.
7. Babaev O.G., Matyunin S.A., Leonovich G.I. *Metodika issledovaniya magnitoopticheskogo effekta v kristallakh BSO dlya datchika magnitnogo polya* [Method of investigation the magneto-optic effect in BSO crystals for magnetic field sensor]. Photon-Express. No. 6. 2013. pp. 66-67.
8. Potapov T.V. *Eksperimental'noe issledovanie temperaturnoy stabil'nosti datchikov magnitnogo polya na osnove kristallov $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$* [Experimental study of temperature stability of magnetic field sensors on the basis of $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ crystals]. Technical physics Letters. V. 24, No. 11. 1998. pp. 26-31.
9. Burkov V.D., Potapov V.T., Chumachenko S.I., Udalov M.E. *Laboratornyy kompleks «Matematicheskoe modelirovanie chuvstvitel'nogo elementa volokonno-opticheskogo datchika magnitnogo polya i elektricheskogo toka»* [Laboratory complex «Mathematical modeling of the sensitive element of fiber optic magnetic field sensor and electrical current»]. Certificate ofap about trade registration of a design MSFU No. 2562 dated 17.06.2003.
10. Burkov V.D., Potapov V.T. *Teoriya, raschet i proektirovanie volokonno-opticheskikh priborov i sistem: praktikum* [The theory, calculation and design of optical fiber devices and systems: workshop]. Moscow, MSFU, 2011. 55 p.

УДК 004.896

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КА ПРИ СПУСКЕ В АТМОСФЕРЕ МАРСА

Н.Л. СОКОЛОВ, *ст науч. сотрудник ЦУП ЦНИИМаш, канд. техн. наук*⁽¹⁾,
Д.А. ОРЛОВ, *инженер ЦУП ЦНИИМаш*⁽¹⁾

sokolov@mcc.rsa.ru, hause_of_god@bk.ru

⁽¹⁾ ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» (ФГУП ЦНИИМаш), 141070, Московская область, г. Королев, ул. Пионерская, д.4 Тел.: 8 (495) 513 51 05, 8 (495) 513 52 90

Исследуются вопросы оптимального управления космическим аппаратом при спуске в атмосфере Марса. Решены вариационные задачи минимизации конечной скорости КА, минимизации максимальных значений температур и перегрузок на траекториях минимальной конечной скорости. Использовались необходимые условия оптимальности принципа максимума Понтрягина. Полученные результаты позволили выработать рекомендации по выбору проектно-баллистических характеристик КА. Установлено некоторое снижение минимальной конечной скорости при использовании двухпараметрического управления углами крена и атаки по сравнению с однопараметрическим управлением углом крена. Показано отсутствие эффективности двухпараметрического управления при минимизации максимальных температур и перегрузок. В связи с этим, учитывая сложности практической реализации управления углом атаки при полете КА в атмосфере, предпочтение следует отдать однопараметрическому управлению углом крена.

Ключевые слова: космический аппарат, оптимальное управление, аэродинамические формы, минимизация конечной скорости, минимизация максимальной температуры, проектно-баллистические характеристики.

Повышенный интерес к изучению Марса и его спутников со стороны космических агентств многих стран мира предопределил чрезвычайную важность определения рациональных схем реализации марсианских миссий, облика и тактико-технических характеристик создаваемых космических комплексов. Важное значение при решении указанных задач приобретает построение оптимального управления КА на различных участках полета, при котором обеспечивается наибольшая эффективность выполнения программ космических миссий.

В настоящей работе исследуется оптимальное управление КА на одном из наиболее важных этапов космических миссий – спуске в атмосфере Марса. Этот этап во многом является определяющим для успешной реализации экспедиции в связи с известными сложностями спуска КА в разреженной марсианской атмосфере, где имеет место высокая чувствительность влияния погрешностей координат входа аппарата в атмосферу на качественный характер траекторий полета и численные значения основных критериев оптимальности [1, 2].

В связи со специфическими особенностями полета КА в атмосфере Марса чрезвычайно важной задачей, наряду с проведенными в работе [3] исследованиями максимизации фи-

зически реализуемого коридора входа, является задача минимизации конечной скорости спускаемого аппарата при вводе в действие системы мягкой посадки [1]. Отметим, что в условиях низкой плотности атмосферы Марса в сочетании со сравнительно малыми скоростями входа КА в атмосферу, максимальные значения температуры и перегрузки будут существенно меньше, чем при спуске в атмосферах других планет. Несмотря на это, при оптимизации траектории спуска в атмосфере Марса необходимо учитывать ограничения как на максимально допустимые значения температуры в критической области поверхности КА, так и на максимальное значение перегрузки, а также на зоны бокового маневра, что является необходимым условием для посадки аппаратов в заданных районах поверхности планет. Перечисленные факторы существенно влияют на формирование облика спускаемого аппарата и на его массо-габаритный баланс. Это обуславливает необходимость решения задач оптимального управления с четко обозначенными ограничениями на траекториях параметров КА.

Постановка задачи оптимального управления

Движения КА в атмосфере Марса описываются системой дифференциальных уравнений по аналогии с работами [1,4]

$$\begin{aligned} dV / dt &= -\rho V^2 / 2P_x - \mu / r^2 \sin \theta, \\ d\theta / dt &= \rho VK_6 / 2P_x \cos \gamma - \\ &\quad - \mu / r^2 V \cos \theta + V / r \cos \theta, \\ d\varepsilon / dt &= \rho VK_6 / 2P_x \cos \theta \sin \gamma - \\ &\quad - V / r^2 V \cos \theta \cos \varepsilon \operatorname{tg} \varphi, \\ dh / dt &= V \sin \theta, \\ d\lambda / dt &= V \cos \theta \cos \varepsilon / r \cos \varphi, \\ d\varphi / dt &= V / r \cos \theta \sin \varepsilon, \\ P_x &= m / C_x S, K_6 = C_y / C_x, r = R + h \end{aligned} \quad (1)$$

где V – скорость КА,

θ – угол наклона вектора скорости к местному горизонту,

ε – угол между проекцией вектора скорости на местный горизонт и местной параллелью, h – высота полета КА над поверхностью Марса,

λ и φ – планетоцентрические долгота и широта,

m – масса КА,

$R = 3395$ км – экваториальный радиус Марса,

ρ – плотность атмосферы,

$\mu = 42\,828,48$ км³/сек² – произведение постоянной притяжения на массу Марса,

P_x – приведенная нагрузка на лобовую поверхность КА,

K_6 – аэродинамическое качество,

C_x и C_y – аэродинамические коэффициенты лобового сопротивления и подъемной силы,

S – площадь миделева сечения КА,

γ – угол крена.

В связи с существующей неопределенностью плотности атмосферы Марса [1, 5], значительно влияющей на качественный характер движения КА, при исследовании управления аппаратом рассматривались минимальная, номинальная и максимальная ее модели. Для этих моделей плотность атмосферы ρ в зависимости от высоты полета КА определялась в соответствии с методикой, изложенной в работах [1, 6]. При решении вариационных задач использовался принцип «гарантированного обеспечения рассматриваемых экстремумов» в условиях возможных вариаций параметров атмосферы, т. е. выбирались те модели атмосферы, при которых реализуются наихудшие значения критериев оптимальности.

В ряде работ, посвященных исследованию движения КА в атмосфере, показана эффективность использования двухпараметрического управления [7–9]. По аналогии с этими работами будем считать, что управление КА в атмосфере осуществляется путем изменения углов крена γ и атаки α . Значения γ и α могут варьироваться в пределах

$$-\pi \leq \gamma \leq \pi, 0 \leq \alpha \leq \alpha_{\max}. \quad (2)$$

Начальная точка траектории $t = t_0$ соответствует моменту входа КА в атмосферу Марса. При этом все значения параметров КА известны

$$\begin{aligned} V(t_0) &= V_0, \theta(t_0) = \theta_0, \varepsilon(t_0) = \varepsilon_0, \\ h(t_0) &= h_0, \lambda(t_0) = \lambda_0, \varphi(t_0) = \varphi_0. \end{aligned} \quad (3)$$

В конечной точке траектории $t = t_k$ (момент ввода в действие системы мягкой посадки) известны значения высоты полета КА

$$h(t_k) = 5 \div 9 \text{ км}. \quad (4)$$

Учитываются ограничения на максимальные значения перегрузки n_{\max}

$$n(t) \leq n_{\max} = 15 \text{ ед}. \quad (5)$$

Таким образом, сформулируем общую задачу оптимального управления: для процессов, описывающих динамику движения КА в атмосфере Марса (1), требуется определить программу управления эффективным аэродинамическим качеством $K_\sigma = K_{\sigma\varphi} \cos \gamma$, переводящую аппарат из начальной точки траектории (2) в конечную (4) при реализации экстремума критерия оптимальности J и учете ограничений (2), (5). Где J – это основной критерий оптимальности минимума конечной скорости $J = V_k = \min$.

Расчеты проводились для следующих форм КА, проектируемых для осуществления различных миссий зондирования атмосферы Марса: аппаратов сегментно-конической формы с максимальным аэродинамическим качеством $K_{\max} = 0,34$; типа «несущий корпус» с $K_{\max} = 1,5$; самолетной формы с $K_{\max} = 2,4$. Для таких форм зависимости аэродинамических коэффициентов лобового сопротивления и подъемной силы C_y, C_x , а также аэродинамического качества K от угла атаки α в соответствии с работой [1] приведены на рис. 1

Предполагалось, что спускаемые аппараты рассматриваемых аэродинамических форм могут осуществлять движение на учас-

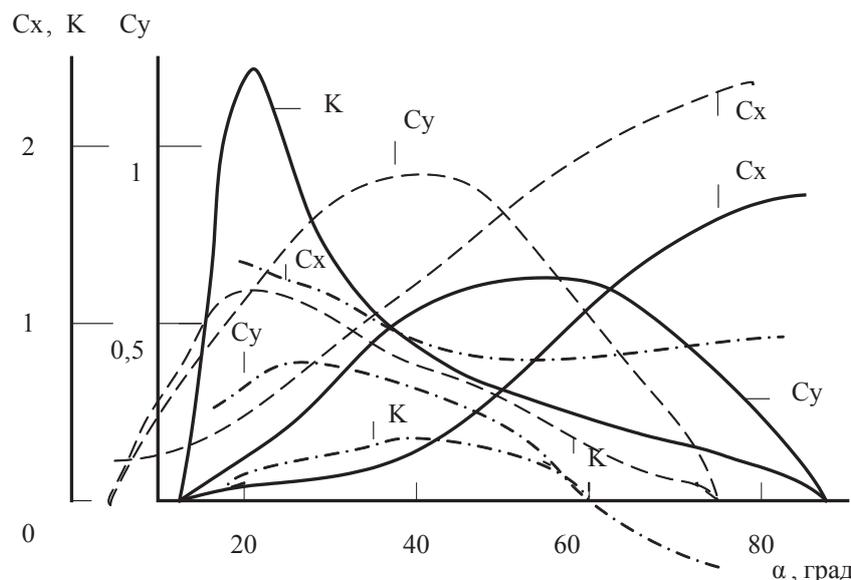


Рис. 1. Зависимости коэффициентов лобового сопротивления (C_x), подъемной силы (C_y) и аэродинамического качества (K), от угла атаки (α) ($M > 4$): сплошная линия – КА самолетной формы с; $K_{max} = 2,4$; штриховая линия – КА типа «несущий корпус» с $K_{max} = 1,5$; штрихпунктирная линия – КА сегментно-конической формы ($K_{max} = 0,34$)

Fig. 1. The dependence of the coefficient of drag (C_x), lift (C_y) and aerodynamic efficiency (K), the angle of attack (α) ($M > 4$): solid line – KA airplane shape with; $K_{max} = 2,4$; dashed line – KA type «lifting body» with $K_{max} = 1,5$; dashed line – KA segment-conical shape ($K_{max} = 0,34$)

тке полета в атмосфере во всем диапазоне балансирующих углов атаки, представленных на рис. 1.

Решение задач оптимального управления проводилось с использованием необходимых условий оптимальности принципа максимума Понтрягина [10]. При этом в качестве первого приближения для решения краевых задач использовались параметры движения КА и сопряженных переменных в конечных точках квазиоптимальных траекторий, рассчитанных в соответствии с аналитическим методом, подробно описанным в работе [11].

В качестве критериев оптимальности, кроме минимума конечной скорости КА, использовались минимумы максимальных значений температуры и перегрузки на траекториях минимальной конечной скорости, также максимум боковой дальности при полете аппарата на изоучастках.

Минимизация конечной скорости КА

Как было показано выше, при движении КА внутри области допустимых значений фазового пространства оптимальное управление углом крена γ при минимизации конечной

скорости V_{kmin} состоит в однократном переключении угла крена с $\gamma = \pi$ на $\gamma = 0$.

Проведены расчеты значений минимальной конечной скорости V_{kmin} при использовании описанной программы оптимального управления углом крена при условии полета КА с постоянными величинами угла атаки α .

Как следует из рассмотрения зависимостей, представленных на рис. 1, каждому конкретному углу атаки α соответствуют определенные значения аэродинамических коэффициентов подъемной силы и лобового сопротивления, а следовательно, и величины аэродинамического качества K_0 и приведенной нагрузки на лобовую поверхность P_x . При этом каждое сочетание переменных K_0 и P_x однозначно определяет значение минимальной конечной скорости спускаемого аппарата.

На рис. 2 приведены зависимости минимальной конечной скорости от угла атаки для различных аэродинамических форм КА. Показано, что зависимости $V_{kmin}(\alpha)$ имеют ярко выраженный минимум внутри диапазона изменения углов атаки. При переходе к рассмотрению КА с большими значениями

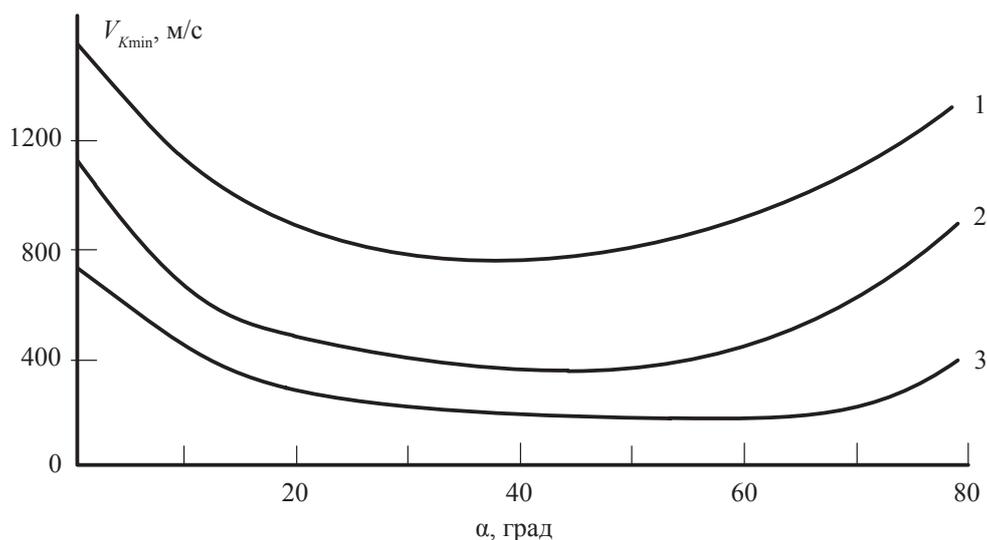


Рис. 2. Зависимость минимальной конечной скорости ($V_{\text{кmin}}$) от балансирующего угла атаки при оптимальном управлении углом крена ($P_x = 400 \text{ кг/м}^2$) 1 – КА с $K_{\text{max}} = 0,34$; 2 – КА с $K_{\text{max}} = 1,5$; 3 – КА с $K_{\text{max}} = 2,4$

Fig. 2. Dependence minimum final velocity ($V_{\text{кmin}}$) of a balancing angle of attack with optimal control of the roll angle ($P_x = 400 \text{ кг/м}^2$) 1 – КА with $K_{\text{max}} = 0,34$; 2 – КА with $K_{\text{max}} = 1,5$; 3 – КА with $K_{\text{max}} = 2,4$

максимального аэродинамического качества K_{max} величины $V_{\text{кmin}}$ уменьшаются. Так, например, для КА сегментно-конической формы с $K_{\text{max}} = 0,34$ увеличение α от нулевого значения до $\alpha = 28^\circ$ приводит к снижению конечной скорости $V_{\text{кmin}}$ при оптимальном управлении углом крена от 1300 м/с до 800 м/с. Последующее увеличение угла атаки до $\alpha = 80^\circ$ приводит к существенному росту значения $V_{\text{кmin}}$ до 1400 м/с. Для КА типа «несущий корпус» ($K_{\text{max}} = 1,50$) при возрастании угла α от нуля до 40° конечная скорость снижается от 1100 м/с до 600 м/с, а затем, в процессе изменения α до 80° – увеличивается до 1050 м/с. При рассмотрении КА самолетной формы абсолютный минимум конечной скорости $V_{\text{кmin}}$ составляет 250 м/с и достигается при $\alpha = 60^\circ$. Представленные результаты показывают, что для КА с большими значениями K_{max} минимум конечной скорости $V_{\text{кmin}}$ достигается на больших значениях балансирующих углов атаки α .

Таким образом, проведенные исследования показывают, что значения минимальной конечной скорости $V_{\text{кmin}}$ для всех рассматриваемых форм КА обеспечиваются при полете с углами атаки, превышающими значения, соответствующие максимальному

аэродинамическому качеству K_{max} . В связи с этим, с точки зрения обеспечения наиболее эффективного снижения конечной скорости, отсутствует необходимость движения КА с K_{max} . Объясняется это тем, что с изменением угла атаки α , приводящем к росту аэродинамического качества, происходит также увеличение коэффициента лобового сопротивления, оказывающего противоположное влияние на скорость $V_{\text{кmin}}$ при оптимальном управлении.

Далее перейдем к рассмотрению двухпараметрического способа управления КА углами атаки и крена. Решение задачи будем проводить при условии представления зависимостей аэродинамических коэффициентов $C_x(\alpha)$ и $C_y(\alpha)$ (рис. 1) в аналитическом виде. Так, в работе [1] показано, что для КА типа «несущий корпус» с достаточной степенью точности указанные зависимости могут быть аппроксимированы следующим образом

$$C_x(\alpha) = 0,2 + 2,3 \sin^2(9/8 \alpha - 45/8),$$

$$C_y(\alpha) = -0,1 + 2,3 \sin(9/8 \alpha - 45/8) \cos(9/8 \alpha - 45/8).$$

Как и ранее, учитывалось свойство неединственности оптимальных траекторий, содержащих участки полета КА по границам допустимой области фазового пространства. В этом случае выведение КА на изовысотной

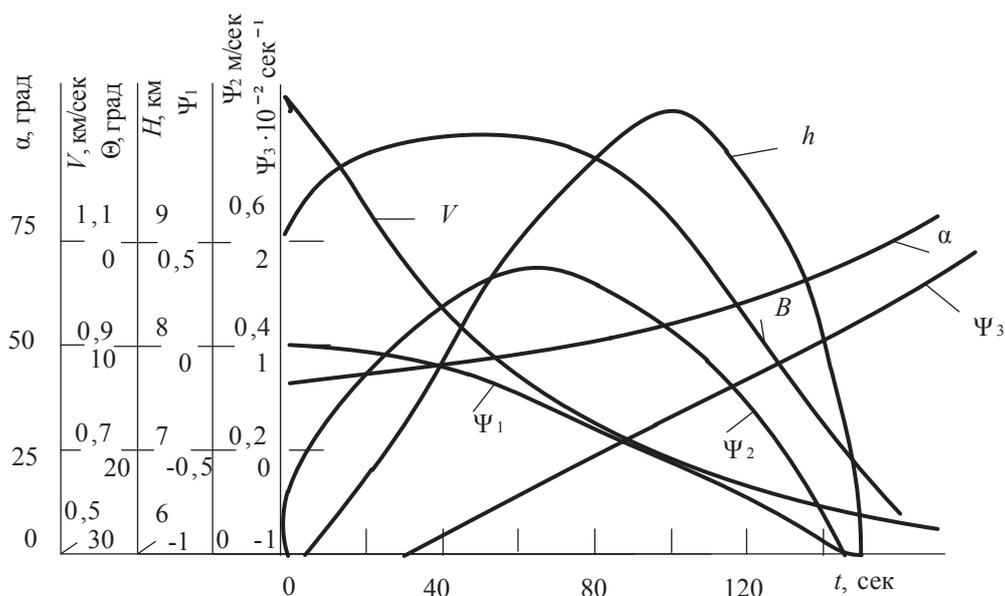


Рис. 3. Зависимости фазовых координат, сопряженных переменных и угла α от времени спуска при оптимальном управлении с помощью угла атаки ($P_x = 600 \text{ кг/м}^2, \gamma = 0$)

Fig. 3. Dependence of the phase coordinates, conjugate variables and the angle of descent α time with optimal control using the angle of attack ($P_x = 600 \text{ kg / m}^2, \gamma = 0$)

или изоперегрузочной режимы полета может проходить по различным траекториям без нарушения цели управления, т. е. при обеспечении минимального значения конечной скорости спуска. Это позволяет проводить решение вариационной задачи лишь на участке движения КА внутри допустимой области фазовых координат после схода спускаемого аппарата с изоучастков.

Качественный характер изменения траекторий спуска КА в атмосфере Марса и сопряженных переменных при оптимальном управлении можно продемонстрировать из рассмотрения данных, представленных на рис. 3. Показано, что после схода КА с изовысотного участка угол атаки α представляет собой монотонно возрастающую функцию от времени полета и достигает максимума в конце траектории спуска. Так, для КА с $K_{\max} = 1,5$ и $P_x = 600 \text{ кг/м}^2$ угол атаки α возрастает от 38° до 72° , а для КА $K_{\max} = 2,4$ и $P_x = 600 \text{ кг/м}^2$ угол α увеличивается от 58° до 85° . Указанное возрастание угла атаки на конечном участке спуска приводит к увеличению аэродинамического коэффициента лобового сопротивления и, следовательно, к более интенсивному гашению скорости движения КА.

В целом анализ численных результатов решения задач оптимального управления показал некоторое снижение конечной скорости при управлении углами атаки и крена по сравнению со способом однопараметрического управления углом крена. В этом случае, в зависимости от рассматриваемых проектно-баллистических характеристик спускаемого аппарата – значений аэродинамического качества и приведенной нагрузки на лобовое сопротивление – величина конечной скорости КА может быть уменьшена \sim на 10–15 %.

Рекомендации по выбору проектно-баллистических характеристик КА

Использование разработанного метода определения оптимального управления дает возможность проведения ускоренного сравнительного анализа значений минимальной конечной скорости, рассчитанных для различных значений проектно-баллистических характеристик спускаемого аппарата и выработки рекомендаций по их выбору. Некоторые результаты расчетов представлены на рис. 4 и 5.

На рис. 4 для рассматриваемых трех типов КА представлены зависимости частного влияния нагрузки на лобовую поверхность P_x

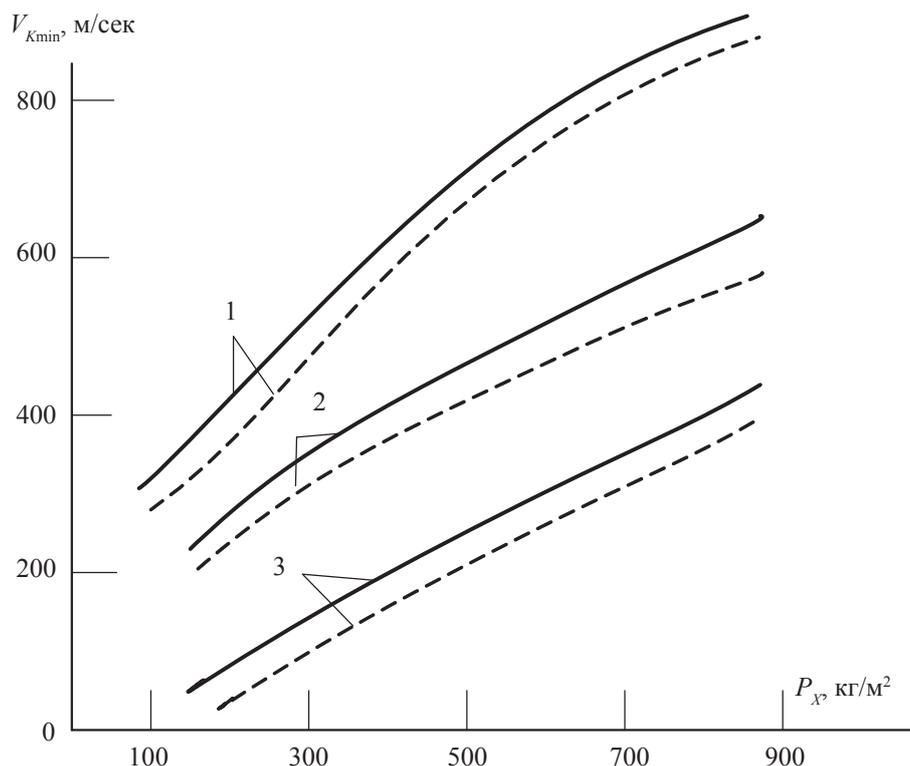


Рис. 4. Зависимости минимальной конечной скорости от нагрузки на любую поверхность при оптимальном управлении с использованием угла крена (сплошная линия) и при двухпараметрическом управлении (штриховая линия), $P_x = 400 \text{ кг/м}^2$: 1 – КА сегментно-конического типа ($K_{\max} = 0,34$); 2 – КА типа «несущий корпус» ($K_{\max} = 1,5$); 3 – КА самолетной формы ($K_{\max} = 2,4$)

Fig. 4. Dependencies minimum final velocity of the load on any surface in the optimal control using the roll angle (solid line) and two-parameter control (dashed line), $P_x = 400 \text{ кг/м}^2$: 1 – КА conical segment-type ($K_{\max} = 0,34$); 2 – КА type «lifting body» ($K_{\max} = 1,5$); 3 – КА airborne form ($K_{\max} = 2,4$)

на конечную скорость при одном из двухпараметрических при оптимальном управлении.

Видно, что скорость $V_{\text{кmin}}$ монотонно увеличивается с ростом P_x и с уменьшением максимального качества аппарата K_{\max} . Интенсивность увеличения $V_{\text{кmin}}$ возрастает при переходе от КА самолетных форм к аппаратам сегментно-конического типа. Например, при увеличении P_x с 200 до 800 кг/м² скорость $V_{\text{кmin}}$ возрастает на ~ 200 м/сек для КА с $K_{\max} = 2,4$ и на ~ 500 м/сек для КА с $K_{\max} \approx 0,34$. Необходимо подчеркнуть, что характер зависимостей $V_{\text{кmin}}(P_x)$ одинаков для обоих способов управления. При этом снижение минимальной конечной скорости при двухпараметрическом управлении углами крена и атаки не превышает 5÷10 % для всех рассматриваемых значений проектно-баллистических характеристик КА [5].

Представляется интересным рассмотрение вопроса о границах применимости того

или иного типа КА и значений приведенной нагрузки на лобовую поверхность. Так, если принять за предельно допустимые значения скорости в конце участка аэродинамического торможения $V_{\text{кmin}} \approx 700 \div 750 \text{ м/сек}$ (~3 ÷ 3,5 М) то согласно данным рис. 5 применение КА сегментно-конического типа с $K_{\max} = 0,34$ невозможно при $P_x > 600 \div 650 \text{ кг/м}^2$. При использовании КА, располагающего максимальным аэродинамическим качеством $K_{\max} = 1,5$ (КА типа «несущий корпус»), область допустимых нагрузок на лобовую поверхность P_x увеличивается до 1000 ÷ 1050 кг/м², и, наконец, аппараты самолетных форм допускают увеличение P_x до 2000 ÷ 2100 кг/м². Следует отметить, что до дозвуковых скоростей полета ($V_k < 200 \text{ м/сек}$) даже при средних значениях $P_x \sim 300 \div 350 \text{ кг/м}^2$ с использованием оптимальных программ управления можно затормозить только космические аппараты самолетных форм.

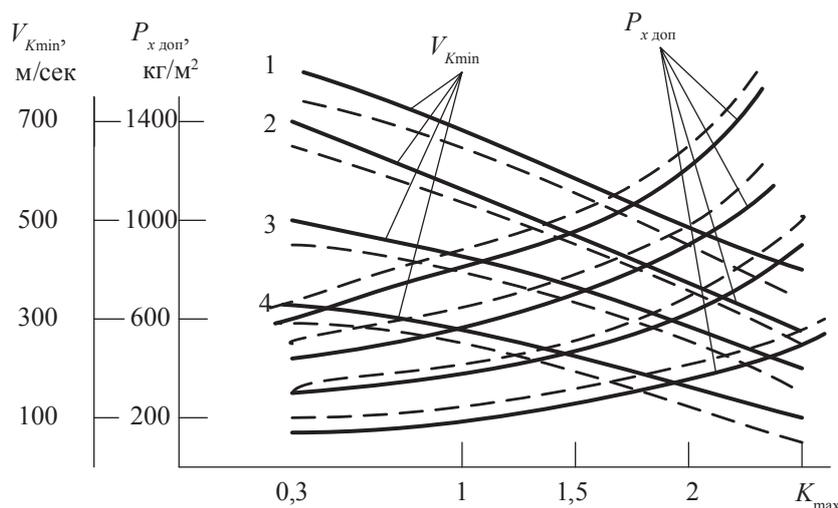


Рис. 5. Зависимости минимальной конечной скорости V_{kmin} и допустимой нагрузки на лобовую поверхность $P_{x доп}$ от максимального аэродинамического качества при оптимальном управлении с использованием угла крена (сплошная линия) и при двухпараметрическом управлении (штриховая линия): 1 – $P_x = 800$ кг/м², 2 – $P_x = 600$ кг/м², 3 – $P_x = 400$ кг/м², 4 – $P_x = 200$ кг/м²

Fig. 5. Dependence V_{kmin} minimum ultimate load capacity and speed on the frontal surface of $P_{x доп}$ maximum aerodynamic efficiency at optimal control using the roll angle (solid line) and two-parameter control (dashed line): 1 – $P_x = 800$ кг/м², 2 – $P_x = 600$ кг/м², 3 – $P_x = 400$ кг/м², 4 – $P_x = 200$ кг/м²

Минимизация максимальных значений температур и перегрузок на траекториях минимальной конечной скорости

Следствием свойства неединственности оптимальных траекторий, содержащих изоучастки полета, является возможность, не увеличивая значения конечной скорости V_{kmin} , минимизировать максимальные температуры и перегрузки, действующие на спускаемый аппарат. При этом до выхода на изоучастки минимизируются значения T_{max} и n_{max} , а на заключительном этапе полета в соответствии с установленными ранее законами оптимального управления минимизируется конечная скорость. Анализ результатов решения вариационных задач минимизации T_{max} показал, что программа оптимального управления КА заключается в следующем: угол крена принимает нулевое значение, а угол атаки несколько увеличивается от значения, обеспечивающего максимальное аэродинамическое качество до некоторой величины α_{max} . Причем, интенсивность изменения угла атаки возрастает по мере увеличения интенсивности роста температуры.

Использование двухпараметрического оптимального управления КА позволяет снизить максимальную температуру ~ на 2–3° К

по сравнению с однопараметрическим. После достижения максимальной температуры $\min T_{max}$ углы α и γ определяются из условия движения КА по изотермическому участку: такой режим полета предотвращает возможные увеличения температуры сверх значения $\min T_{max}$.

Показано, что в процессе полета по изотермическому участку перегрузка, действующая на КА, продолжает возрастать и может достигнуть критических величин. Для снижения темпов роста перегрузки используется более ранний сход КА с изоучастка путем переключения угла крена на значение, обеспечивающее максимальное эффективное аэродинамическое качество. При переключении управляющих углов в оптимальные моменты времени максимальная перегрузка снижается ~ до 2–3-х единиц.

Другим способом снижения значений n_{max} является уменьшение аэродинамического качества КА на этапе интенсивного возрастания перегрузок. Это достигается, в основном, за счет снижения боковой составляющей полной перегрузки, действующей на КА в процессе спуска в атмосфере.

Следует отметить, что в процессе полета по изовысотному, изотермическому

и изоперегрузочному участкам существует принципиальная возможность управления боковой дальностью полета спускаемого аппарата. Движение КА по этим участкам достигается путем реализации программы управления эффективным аэродинамическим качеством

$$K_{эф} = C_y(\alpha) / C_x(\alpha) \cos \gamma$$

Как видно, одни и те же значения $K_{эф}$ могут быть получены путем выбора различных углов α и γ . Это дает возможность найти управляющие углы, обеспечивающие требуемую величину $K_{эф}$ при минимально возможном значении « $\cos \gamma$ », т. е. при максимальной величине « $\sin \gamma$ », что позволяет в процессе полета КА по изотермическому участку осуществлять боковые маневры. Причем, выбором знака « $\sin \gamma$ » определяется направление маневра.

Проведенные расчеты показывают, что в зависимости от величины K_{max} на изоперегрузочных участках может быть обеспечена боковая дальность полета от ~ 100 км при $K_{max} = 0,34$ до ~ 500 км при $K_{max} = 2,4$.

Заключение

Представленные результаты позволяют сделать следующие основные выводы.

На основе разработанных методов и алгоритмов оптимального управления спускаемыми аппаратами решены задачи минимизации конечной скорости, снижения максимальных значений температур и перегрузок, действующих на КА в процессе движения на участке аэродинамического торможения.

Установлено снижение минимальной конечной скорости КА на 10–15 % при использовании двухпараметрического управления углами крена и атаки по сравнению с однопараметрическим управлением углом крена. Показано отсутствие эффективности двухпараметрического управления при минимизации максимальных значений температур и перегрузок. В связи с этим, учитывая сложности практической реализации управления углом атаки при полете КА в атмосфере, предпочтение следует отдать однопараметрическому управлению углом крена.

Результаты решения задач оптимального управления позволили определить рациональные значения проектно-баллистических характеристик рассматриваемых типов КА – аэродинамического качества и приведенной нагрузки на лобовую поверхность. Показано, что применение КА сегментно-конического типа, располагающего аэродинамическим качеством K_{max} до 0,34, становится нерациональным при возрастании нагрузки на лобовую поверхность (и соответственно массы доставляемых на поверхность полезных грузов) свыше 600 кг/м^2 . Использование КА самолетных форм со значениями K_{max} более 2–2,4 расширяет в несколько раз диапазон допустимых значений P_x . При снижении в атмосфере Марса принципиально возможно гашение скорости до дозвуковых значений с использованием аэродинамического торможения, но для этого необходимо применять КА самолетных форм с достаточно малыми нагрузками на лобовую поверхность ($P_x < 300 \div 350 \text{ кг/м}^2$).

Полученные результаты имеют практическую значимость и могут быть использованы при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, в том числе в рамках международного сотрудничества (например по программам «Ехо Mars», «Марс-Сервейер», «Марс-Грунт» и др.).

Библиографический список

1. Иванов, Н.М. Управление движением космического аппарата в атмосфере Марса / Н.М. Иванов, А.И. Мартынов. – М.: Наука, 1977. – 416 с.
2. Елкин, К.С. Расчет входа в атмосферу Марса десантного модуля проекта ЭкзоМарс / К.С. Елкин, В.Н. Куцев, А.С. Манько, В.М. Михайлов // Вестник МАИ. – № 4. – 2014. – С. 79–86.
3. Соколов, Н.Л. Проектно-баллистические исследования проблемы спуска космических аппаратов в атмосфере Марса / Н.Л. Соколов, Д.А. Орлов // Вестник МАИ. – № 1. – 2016.
4. Андриевский, В.В. Динамика спуска космических аппаратов на Землю / В.В. Андриевский. – М.: Машиностроение. – 1970. – 235 с.
5. Казаковцев, В.П. Коррекция траектории перехода космического аппарата на круговую орбиту спутника при использовании торможения в атмосфере в условиях неопределенности ее параметров / В.П. Казаковцев В.П., В.В. Корянов, Зо Мин Тун // Вестник МГТУ им. М.Э. Баумана Серия «Машиностроение». – № 5. – 2015. – С. 38–46.
6. Мороз, В.И. Физика планеты Марс. / В.И. Мороз. – М.: Наука. – 1978.

7. Баринаева, Е.В. Исследование переходных режимов движения по углу атаки спускаемого аппарата с тригармонической характеристикой восстанавливающего момента при входе в атмосферу / Е.В. Баринаева, И.А. Тимбай // *Космические исследования*. – № 3. – 2015. – Т. 53. – С. 263–272.
8. Аношин, Ю.М. Управление траекторией космического аппарата с малым аэродинамическим качеством при спуске в атмосферу / Ю.М. Аношин, А.В. Бобылев, В.А. Ярошевский // *Ученые записки ЦАГИ*. – № 5. – 2012. – С. 79–92.
9. Бебяков, А.А. Оптимальное управление углом атаки гиперзвукового летательного аппарата на этапе разгона–набора высоты в атмосфере / А.А. Бебяков // *Вестник СГАУ*. – № 1. – 2013. – С. 26–38.
10. Понтрягин, Л.С. Математическая теория оптимальных процессов. / Л.С. Понтрягин, В.Г. Болтянский, Р.С. Гамкрелидзе и др. – М.: Наука. 1969. – 392 с.
11. Соколов, Н.Л. Аналитический метод исследования оптимального управления КА при движении в атмосфере. / Н.Л. Соколов // *Вестник МГУЛ – Лесной вестник*. – 2015. – № 3. – Т. 19. – С. 37–44.

OPTIMAL CONTROL OF SPACECRAFT DURING DESCENT IN THE MARTIAN ATMOSPHERE

Sokolov L.S., Senior Researcher MCC TsNIImash, Ph.D. (Tech.)⁽¹⁾; Orlov A.O., MCC TsNIImash⁽¹⁾

sokolov@mcc.rsa.ru, hause_of_god@bk.ru

⁽¹⁾ Central Research Institute for Engineering Technology, 4 Pionerskaya Street, Korolev, Moscow Region, 141070, Russia Тел.: 8 (495) 513 51 05, 8 (495) 513 52 90

The research problems of optimal control of the spacecraft during descent in the Martian atmosphere. Solved variational problem of minimizing the ultimate spacecraft speed, minimizing the maximum temperature and minimum congestion on the trajectories of a finite speed. The necessary conditions have used for the optimality of the Pontryagin maximum principle. The results obtained allowed to develop recommendations on the choice of design and ballistic characteristics of the spacecraft. It was found a reduction in the minimum final speed by using two-parameter control and roll angles of attack compared with one-parameter control the angle of heel. The absence of the two-parameter control efficiency while minimizing the maximum temperatures and overloads. In this regard, given the complexity of the practical implementation of the control angle of attack when the spacecraft flight in the atmosphere, preference should be given one-parameter control of roll angle.

Keywords: spacecraft, optimal control, aerodynamic shape to minimize the final velocity, minimizing the maximum temperature, design and ballistic characteristics.

References

1. Ivanov N. M., Martynov A. I. *Upravlenie dvizheniem kosmicheskogo apparata v atmosfere Marsa* [Optimal Control of spacecraft during descent in the Martian atmosphere]. Moscow: Nauka, 1977. 416 p.
2. Elkin K. S., Kushchev V. N., Man'ko A. S., Mikhailov V. M. *Raschet vkhoda v atmosferu Marsa desantnogo modulya proekta EkzoMars* [Calculation of input into the atmosphere of Mars landing module exomars project]. *Vestnik MAI*. № 4. 2014. pp. 79-86.
3. Sokolov N.L., Orlov D.A., *Proektno-ballisticheskie issledovaniya problemy spuska kosmicheskikh apparatov v atmosfere Marsa* [Project-ballistic researches of the descent of spacecraft into the atmosphere of Mars]. *Vestnik MAI*. № 1. 2016.
4. Andrievskii V.V. *Dinamika spuska kosmicheskikh apparatov na Zemlyu* [The dynamics of the descent of spacecraft to Earth]. Moscow: Mashinostroenie. 1970. 235 p.
5. Kazakovtsev V.P., Koryanov V.V., Zo Min Tun. *Korreksiya traektorii perekhoda kosmicheskogo apparata na krugovuyu orbitu sputnika pri ispol'zovanii tormozheniya v atmosfere v usloviyakh neopredelennosti ee parametrov* [Correction of the trajectory of the spacecraft move n a circular orbit of the satellite by using the braking in the atmosphere in conditions of uncertainty of its parameters]. *Vestnik MGTU im. M.E. Baumana*. Vol. «Mashinostroenie». № 5. 2015. pp. 38-46.
6. Moroz V.I. *Fizika planety Mars* [The physics of the planet Mars]. Moscow: Nauka. 1978. 351 p.
7. Barinova E. V., Timbai I. A. *Issledovanie perekhodnykh rezhimov dvizheniya po uglu ataki spuskaемого apparata s trigarmonicheskoi kharakteristikoi vosstanavlivayushchego momenta pri vkhode v atmosferu* [Investigation of transient modes of movement the angle of attack with the lander trigarmonicheskoy characteristic of the restoring moment during reentry]. *Kosmicheskie issledovaniya*. № 3. 2015. T. 53. pp. 263-272.
8. Anoshin Yu.M., Bobylev A.V., Yaroshevskii V.A. *Upravlenie traektoriei kosmicheskogo apparata s malym aerodinamicheskim kachestvom pri spuske v atmosfere* [spacecraft trajectory control with small aerodynamic control during the descent in the atmosphere]. *Uchenye zapiski TsAGI*. № 5. 2012. pp. 79-92.
9. Bebyakov A.A. *Optimal'noe upravlenie uglom ataki giperzvukovogo letatel'nogo apparata na etape razgona–nabора vysoty v atmosfere* [Optimum control of the angle of attack of a hypersonic aircraft in the acceleration stage, the climb in the atmosphere]. *Vestnik SGAU*. N. 1. 2013. pp. 26-38.
10. Pontryagin L.S., Boltyanskii V.G., Gamkrelidze R.S., Mishchenko E.F. *Matematicheskaya teoriya optimal'nykh protsessov* [The mathematical theory of optimal processes]. Moscow: Nauka. 1969. 392 p.
11. Sokolov N.L. *Analiticheskii metod issledovaniya optimal'nogo upravleniya KA pri dvizhenii v atmosfere* [analytical research method of spacecraft optimal control during the movements in the atmosphere]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*. 2015. № 3. T. 19. pp. 37-44.

УДК 004.896

АВТОНОМНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ОРБИТ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ БОРТОВЫМИ СРЕДСТВАМИ

Н.Л. СОКОЛОВ, *ст. науч. сотрудник ФГУП ЦНИИмаш, ЦУП, канд. техн. наук* ⁽¹⁾,
П.А. ЗАХАРОВ, *вед. инженер ФГУП ЦНИИмаш, ЦУП* ⁽¹⁾

sokolov@mcc.rsa.ru, zacharovp@gmail.com

⁽¹⁾ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» (ФГУП ЦНИИмаш), 141070, Московская область, г. Королев, ул. Пионерская, д. 4

Исследуется проблема идентификации объектов техногенного происхождения с использованием бортовых средств управления КА. Разработан метод определения орбит фрагментов космического мусора. Задача определения орбит КА, удовлетворяющих заданным граничным условиям (задача Ламберта), является одной из основных задач механики полета. Использование указанных методов связано с проведением итерационных процессов. В настоящей работе предлагается приближенный аналитический метод, позволяющий вычислить значения орбитальных элементов по конечным формулам, что на порядок сокращает продолжительность расчетов. В основу разработки метода положено преобразование конечных вычислительных зависимостей, полученных при аналитическом интегрировании дифференциальных уравнений, описывающих орбитальное движение КА в скоростной системе координат, представляющей частный случай общей системы уравнений. После преобразования исходной системы дифференциальных уравнений составляются аналитические зависимости, связывающие данные, полученные после обработки информации, с кеплеровским интегралом площадей орбиты исследуемого объекта. Оценивается точность расчетов параметров орбит с различными высотами. Описываются алгоритмы поддержки принятия решений, реализуемых средствами системы автономного управления. Представлена функциональная схема автономной системы. Показано, что внедрение в практику управления разработанных методов и алгоритмов позволит повысить уровень безопасности полетов КА за счет выявления дополнительных опасных сближений с мало- и среднеразмерными космическими объектами, не идентифицируемыми с применением наземных измерительных средств.

Ключевые слова: система автономного управления, идентификация космических объектов, космический мусор, бортовые средства, метод определения орбит, оценка точности расчетов, алгоритм принятия управленческих решений.

Одной из основных тенденций развития мировой космической деятельности является значительное расширение орбитальных группировок космических аппаратов (КА) различных типов и назначений. Причем, функционирование возрастающего числа КА будет осуществляться в условиях достаточно сильного засорения околоземного космического пространства (ОКП) техногенным веществом (космическим мусором). Практика управления КА показывает, что аппараты, функционирующие на орбитах со средними высотами $\sim 400\div 600$ км, ежемесячно по $5\div 8$ раз сближаются с фрагментами космического мусора (КМ) на расстояния до 15 км. Аппараты, движущиеся на высотах $600\div 700$ км, ежемесячно сближаются до указанного расстояния по $8\div 12$ раз, а КА с высотами орбит $700\div 900$ км – по $12\div 16$ раз [1]. Это обстоятельство выдвигает на первый план проблему обеспечения безопасности пилотируемых и автоматических КА. Несмотря на большое внимание, уделяемое этой проблеме во мно-

гих странах мира, остается ряд нерешенных вопросов, требующих проведения дополнительных исследований. К ним, в частности относятся: идентификация малоразмерных фрагментов космического мусора, которые фактически невозможно обнаружить радиолокационными и оптическими средствами наземного базирования [2]. Вместе с тем, столкновение управляемых КА с такими фрагментами может привести к серьезным негативным последствиям, вплоть до потери космических аппаратов.

Одним из перспективных путей повышения безопасности полетов КА в условиях техногенного засорения ОКП является автономное выявление потенциально опасных космических объектов с помощью бортовых измерительных средств КА. Эта проблема имеет комплексный характер, что предопределяет необходимость проведения исследований по ряду направлений: создание эффективных бортовых измерительных средств [3], расширение каталога потенциально опасных

объектов [4], проектирование высокоинформативных бортовых вычислительных машин [5] и др. Наряду с этим малоисследованным направлением является разработка методов и алгоритмов идентификации потенциально опасных космических объектов, что является ключевым фактором принятия автономных управленческих решений в обеспечении безопасности полетов КА. Следует отметить, что проблемам проектирования и применения автономных систем управления уделяется большое внимание исследователей. При формировании процесса идентификации фрагментов космического мусора и использовании обработанных данных для принятия решений об уклонениях КА будем опираться на структурное построение системы автономного управления, описанного и обоснованного в работе [6].

В настоящей статье исследуются методологические вопросы определения параметров орбит фрагментов космического мусора, находящихся в зонах видимости бортовых оптических средств КА. Очевидно, что погрешности таких расчетов, в основном, будут определяться погрешностями проводимых измерений исследуемых объектов и погрешностями вычислений с помощью бортовых алгоритмов. Практический опыт определения степени опасности фрагментов космического мусора (применительно к управлению Международной космической станцией) показывает, что решение об уклонениях станции принимается при вероятности столкновения объектов, превышающей 10^{-4} (красный порог опасности) [7]. С учетом таких условий разработка высокоточных вычислительных алгоритмов позволит гарантированно обеспечить выявление опасных ситуаций даже при сравнительно больших погрешностях измерительной информации.

Исходная измерительная информация относительного движения объектов

Предполагается, что при условии нахождения фрагментов космического мусора в зоне видимости установленных на борту КА оптических датчиков существует возмож-

ность измерять расстояния до фрагмента КМ Δr и углы наклона вектора \vec{r} к местному горизонту ω и к плоскости движения КА β .

На рис. 1 приведена информация, характеризующая относительное расположение двух объектов.

По известным значениям радиус-вектора космического аппарата $r_{ка}$ и измерениям Δr и ω вычислим радиус-вектор космического

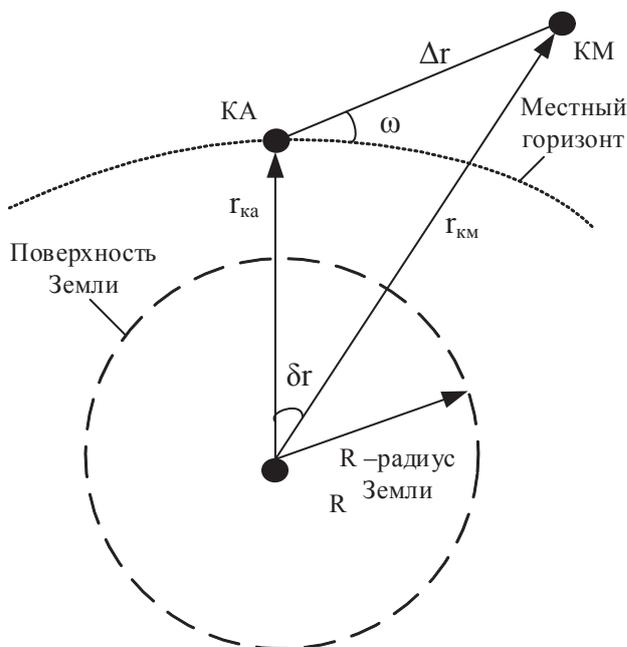


Рис. 1. Относительное расположение объектов в плоскости, проходящей через текущие положения КА и КМ

Fig. 1. The relative position of objects in a plane passing through the current position of the KA and KM

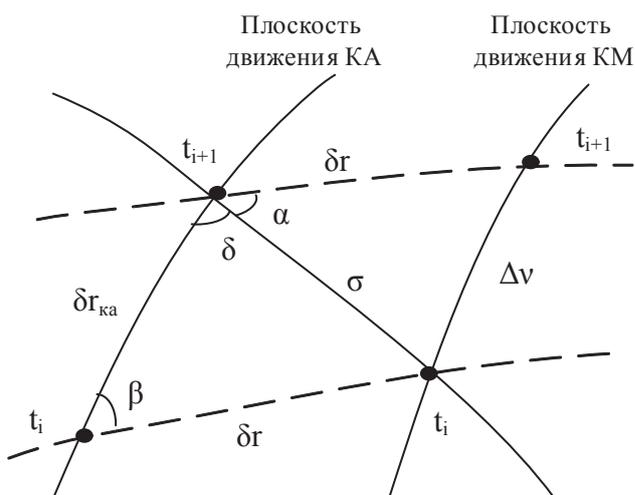


Рис. 2. Относительное расположение плоскостей движения КА и КМ

Fig. 2. The relative position of the planes KA and KM movement

мусора $r_{км}$ и угловое расстояние δr между текущими положениями КА и КМ

$$r_{км} = \sqrt{\left(r_{ка}^2 + \Delta r^2 - 2r_{ка}\Delta r \cos\left(\frac{\pi}{2} + \omega\right) \right)},$$

$$\delta r = \arcsin\left[\frac{\Delta r}{r_{км}} \sin\left(\frac{\pi}{2} + \omega\right) \right]. \quad (1)$$

Для двух следующих друг за другом моментов измерений t_i и t_{i+1} рассчитаем угловое расстояние $\delta r_{ка}$ между векторами $r_{ка}(t_i)$ и $r_{ка}(t_{i+1})$. На рис. 2 представлен сферический треугольник, образованный дугами, соединяющими положения КА в моменты t_i и t_{i+1} ($\delta r_{ка}$), положения КА и КМ при t_i (δr), а также положения КА в момент t_{i+1} и КМ в момент t_{i+1} (σ).

По формулам сферической тригонометрии определим дугу σ

$$\sigma = \arccos[\cos \delta r(t_i) \cos \delta r_{ка} - \sin \delta r(t_i) \sin \delta r_{ка} \cos \beta(t_i)]$$

и угол δ между дугами $\delta r_{ка}$ и σ :

$$\delta = \arcsin\left[\cos \delta r(t_i) \frac{\sin \beta(t_i)}{\sin \sigma} \right].$$

Затем, рассматривая сферический треугольник, образованный дугой σ , а также дугами, соединяющими положения КА и КМ в момент t_{i+1} (δr) и положения КМ в моменты t_i и t_{i+1} (Δv), определим угол α между дугами (δr) и σ

$$\alpha = \pi - \beta(t_{i+1}) - \delta$$

и угловое расстояние между положениями фрагмента космического мусора Δv

$$\Delta v = \arccos[\cos \sigma \cos \delta r(t_{i+1}) - \sin \sigma \sin \delta r(t_{i+1}) \cos \alpha]. \quad (2)$$

Таким образом, с помощью измерительной информации по формулам (1), (2) можно определить значения радиус-векторов космического мусора $r_{км}$ в моменты времени t_i и t_{i+1} , а также угловое расстояние между этими радиус-векторами Δv . С учетом полученных данных $r_{км}(t_i)$, $r_{км}(t_{i+1})$, Δv , $\Delta t = t_{i+1} - t_i$ задача определения параметров орбит космического мусора сводится к известной задаче Ламберта [8].

Метод определения параметров орбит космических объектов

Решение задачи Ламберта – задачи определения орбит КА, удовлетворяющих

заданным граничным условиям, является одной из основных задач механики полета. Известны различные методы определения орбит в задаче двух тел [8–11]. Использование указанных методов связано с проведением итерационных процессов. В настоящей работе предлагается приближенный аналитический метод, позволяющий вычислить значения орбитальных элементов по конечным формулам, что \sim на порядок сокращает продолжительность расчетов.

В основу разработки метода положено преобразование конечных вычислительных зависимостей, полученных при аналитическом интегрировании дифференциальных уравнений, описывающих орбитальное движение КА в скоростной системе координат, представляющей частный случай общей системы уравнений [12]

$$\frac{dV}{dt} = -\frac{\mu}{r^2} \sin \theta, \quad \frac{d\theta}{dt} = \left(\frac{V}{r} - \frac{\mu}{r^2 V} \right) \cos \theta$$

$$\frac{dr}{dt} = V \sin \theta, \quad \frac{d\vartheta}{dt} = \frac{V}{r} \cos \theta. \quad (3)$$

Здесь V – скорость полета КА, θ – угол наклона вектора скорости к местному горизонту, r – радиус вектор, соединяющий центр притяжения Земли с центром масс КА, μ – произведение гравитационной постоянной на массу Земли, ϑ – истинная аномалия, t – время полета. Для рассмотренной системы уравнения истинная аномалия ϑ имеет то же смысловое значение, что и описанная ранее переменная v .

Перейдем по формуле $1/dt = V \sin \theta / dr$ к новой независимой переменной r . Отметим, что рассматривается некруговое движение КА ($dr \neq 0$), т. е. величина r может изменяться в диапазоне от радиуса перигея r_p до радиуса апогея r_a орбиты (при прохождении перигея или апогея приращение dr меняет знак на противоположный).

После замены переменной и интегрирования первого уравнения системы (3) получим интеграл энергии

$$2\mu/r - V^2 = C_1. \quad (4)$$

Преобразуем второе и третье уравнение системы (3) к виду

$$tg d\theta = \left(\frac{1}{r} - \frac{\mu}{r^2 V^2} \right) dr$$

Из этого уравнения определим зависимость траекторного угла θ от радиус-вектора r

$$\theta = \arccos \sqrt{\frac{C_2}{r(2\mu - C_1 r)}} \quad (5)$$

Здесь $C^2 = r^2 V^2 \cos^2 \theta$ – интеграл площадей.

Для получения закона изменения истинной аномалии ϑ от величины r используем дифференциальное уравнение

$$d\vartheta/dr = \operatorname{ctg} \theta(r)/r.$$

После его интегрирования имеем

$$\vartheta = \vartheta_0 + \arcsin A(r) - \arcsin A(r_0), \quad (6)$$

где $A(r) = (\mu - C_2/r) / \sqrt{(\mu^2 - C_1 C_2)}$.

Интегрируя уравнение $dt = dr / V(r) \sin \theta(r)$, можно найти соотношение между временем движения КА t и радиус-вектором r

$$t = t_0 - \frac{\mu}{C_1^{3/2}} [\arcsin B(r_1) - \arcsin B(r_0)] - C(r_1) + C(r_0) \quad (7)$$

где

$$B(r) = \frac{\mu - C_1 r}{\sqrt{\mu^2 - C_1 C_2}}, \quad C(r) = \frac{\sqrt{-C_1 r^2 + 2\mu r - C_2}}{C_1}.$$

Формулы (4) – (7) дают возможность определить параметры и время движения КА при известных начальных условиях и текущих значениях радиус-вектора r .

Будем использовать эти формулы для определения орбит по двум положениям КА. Сформулируем задачу: по известным значениям углового расстояния $\Delta\vartheta$ и времени перелета Δt между двумя точками орбиты, характеризующимися радиус-векторами $r_0 = r_{ка}(t_i)$ и $r_1 = r_{ка}(t_{i-1})$, требуется определить параметры движения КА.

Зависимости (6) и (7) могут быть преобразованы к виду

$$\Delta\vartheta = \arcsin \left[\frac{A(r_1)\sqrt{1-A^2(r_0)} - A(r_0)\sqrt{1-A^2(r_1)}}{\sqrt{C_2}} \right] = \arcsin \left\{ \frac{\sqrt{C_2}}{\mu^2 - C_1 C_2} \times [(\mu r_1 - C_2)C(r_0) - (\mu r_0 - C_2)C(r_1)] \right\}, \quad (8)$$

$$\Delta t = -C(r_1) + C(r_0) - \frac{\mu}{C_1^{3/2}} \arcsin [B(r_1)\sqrt{1-B^2(r_0)} - B(r_0)\sqrt{1-B^2(r_1)}] = -C(r_1) + C(r_0) -$$

$$-\frac{\mu}{C_1^{3/2}} \arcsin \left\{ \frac{\sqrt{C_1}}{\mu^2 - C_1 C_2} [(\mu - C_1 r_1)C(r_0) - (\mu - C_1 r_0)C(r_1)] \right\}. \quad (9)$$

Отметим, что переход к уравнениям (8) и (9) справедлив при

$$A(r_1)A(r_0) \geq 0 \text{ или } A^2(r_1) + A^2(r_0) \leq 1 \quad (10)$$

и

$$B(r_1)B(r_0) \geq 0 \text{ или } B^2(r_1) + B^2(r_0) \leq 1. \quad (11)$$

Анализ выражений $A(r)$ и $B(r)$ показал, что при увеличении радиус-вектора r от r_π до r_α переменная $A(r)$ изменяется от -1 до 1 , а $B(r)$ – от 1 до -1 , причем $A(r) = 0$ при $r = p$ и $\Delta\vartheta = 90^\circ$, а $B(r) = 0$ при $r = r' \leq p$ и $\Delta\vartheta = \Delta\vartheta' \leq 90^\circ$ (значения $\Delta\vartheta'$ в зависимости от параметров орбит находятся в диапазоне от 75° до 90°). Следовательно, условие (10) будет гарантированно соблюдаться, если угловое расстояние между радиус-векторами r_0 и r_1 не превышает 90° , а условие (11) – при $\Delta\vartheta \leq \Delta\vartheta' \approx 75^\circ$.

Соотношения (8) и (9) представляют систему уравнений с двумя неизвестными C_1 и C_2 . Нетрудно видеть, что определить константы интегрирования C_1 и C_2 по известным значениям Δt , $\Delta\vartheta$, r_0 и r_1 можно лишь путем проведения итерационного процесса.

Для получения конечных расчетных зависимостей введем допущение о малости значений аргументов функций \arcsin , входящих в формулы (8) и (9), т. е. $\arcsin x \approx x$. В этом случае при $x \leq 10^\circ$ вычислительные погрешности не превышают 1% , а при $x \leq 10^\circ - 2\%$.

Данное допущение, очевидно, сужает область применения предлагаемого метода. Вместе с тем, в определенном диапазоне изменения исходных параметров Δt , $\Delta\vartheta$, r_0 и r_1 , который будет выявлен путем анализа численных результатов, методические погрешности будут сравнительно малы (не более 2%). Кроме того, будет показано, что в этом диапазоне будут всегда выполняться условия (10) и (11).

В результате уравнение (8) запишется следующим образом

$$\Delta\vartheta = \frac{\sqrt{C_2}}{r_0 r_1 (\mu^2 - C_1 C_2)} \times [(\mu r_1 - C_2)C(r_0) - (\mu r_0 - C_2)C(r_1)]. \quad (12)$$

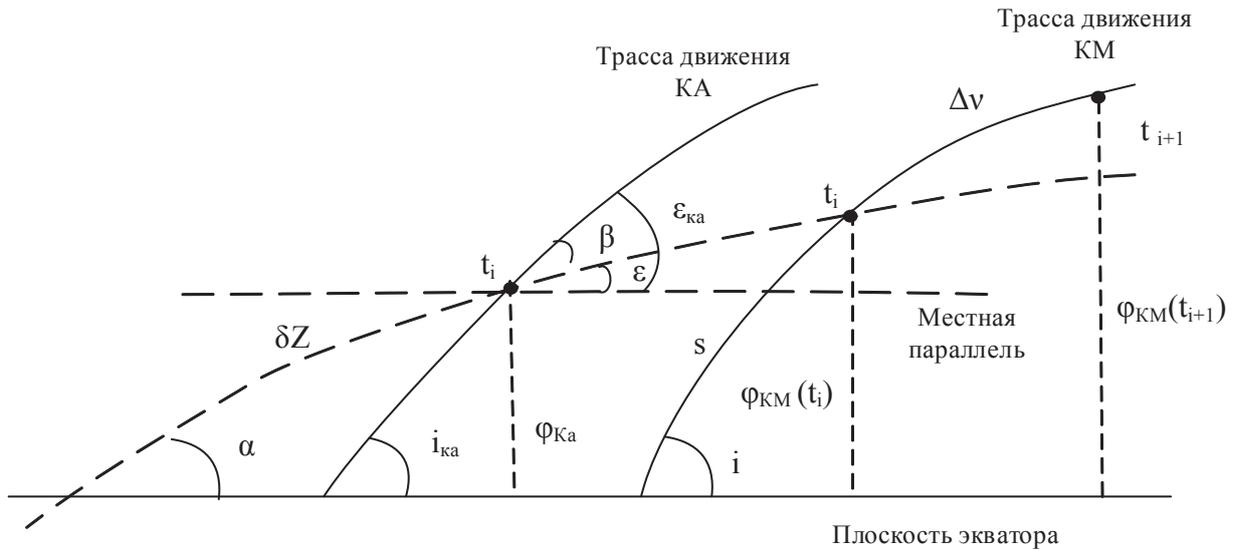


Рис. 3. Трассы движения КА и КМ
Fig. 3. Trails KA and KM movement

После преобразования выражения (9) с учетом введенного допущения определим зависимость между радиус-векторами r_0 и r_1 , интервалом времени Δt и постоянными C_1 и C_2

$$\Delta t = \frac{1}{\mu^2 - C_1 C_2} \times [(\mu r_1 - C_2)C(r_0) - (\mu r_0 - C_2)C(r_1)]. \quad (13)$$

Поделив уравнение (12) и (13), получим соотношение между известными значениями Δt , $\Delta \vartheta$, r_0 и r_1 и константой интегрирования C_2

$$\frac{\Delta \vartheta}{\Delta t} = \frac{\sqrt{C_2}}{r_0 r_1} \text{ или } C_2 = \frac{r_0^2 r_1^2 \Delta \vartheta^2}{\Delta t^2}. \quad (14)$$

С учетом (14) находим фокальный параметр орбиты

$$p = C_2 / \mu. \quad (15)$$

Решая систему двух уравнений

$$r_0 = \frac{p}{1 + e \cos \vartheta_0} \text{ и } r_1 = \frac{p}{1 + e \cos (\vartheta_0 + \Delta \vartheta)},$$

определим истинную аномалию ϑ_0 , соответствующую радиус-вектору r_0

$$\operatorname{tg} \vartheta_0 = \operatorname{ctg} \Delta \vartheta - r_0 (p - r_1) [r_1 (p - r_0) \sin \Delta \vartheta]^{-1}. \quad (16)$$

Зная значения p и ϑ_0 , по известным формулам [13] можно определить и другие элементы искомой орбиты: эксцентриситет e , радиусы перицентра r_π и апоцентра r_a , большую полуось a

$$e = (p - r_0) r_0^{-1} \cos^{-1} \vartheta_0, \quad r_\pi = p / (1 + e), \quad r_a = p / (1 - e), \quad a = \frac{r_\pi + r_a}{2}. \quad (17)$$

Таким образом, используя исходные значения радиус-векторов $r_{ка}(t_i)$ и $r_{ка}(t_{i+1})$, временного отрезка $\Delta t = t_{i+1} - t_i$ и определяя по формуле (2) угловые расстояния Δv можно рассчитать значения фокального параметра p , истинной аномалии ϑ_0 , эксцентриситета e , большой полуоси a для параметров движения космического мусора в соответствии с зависимостями (14–17).

Далее определим наклонение орбиты КМ (i). Для описания процесса определения наклонения используем рис. 3, где представлены проекции трасс движения КА и КМ относительно экваториальной плоскости. Прежде всего вычислим значение курсового угла между проекцией вектора скорости КА на местный горизонт и местной параллелью в момент времени t_i

$$\epsilon_{ка}(t_i) = \arccos \left[\frac{\cos i_{ка}}{\cos \varphi_{ка}(t_i)} \right].$$

С учетом измеренного значения $\beta(t_i)$ найдем аналогичный курсовой угол для плоскости условной орбиты, проходящей через широты подспутниковых точек КА и КМ в момент t_i

$$\epsilon = \epsilon_{ка}(t_i) - \beta(t_i).$$

Определим наклонение этой орбиты (a), дугу, лежащую в ее плоскости и соединяющую подспутниковую точку КА с плоскостью экватора (δz) и широту полета КМ при t_i

$$a = \arccos \left[\cos \varepsilon \cos \varphi_{ka} (t_i) \right],$$

$$\delta z = \arcsin \left[\frac{\sin \varphi_{ka} (t_i)}{\sin a} \right],$$

$$\varphi_{км} (t_i) = \arcsin \left[\sin j \sin (\delta z + \delta r) \right].$$

Далее рассмотрим два сферических треугольника, образованных плоскостью движения КМ, плоскостью экватора, а также двумя полярными плоскостями, проходящими через широты подспутниковых точек КМ $\varphi_{км}(t_i)$ и $\varphi_{км}(t_{i+1})$. В соответствии с теоремой синусов запишем уравнения

$$\frac{\sin \varphi_{км} (t_i)}{\sin i} = \sin s, \quad \frac{\sin \varphi_{км} (t_{i+1})}{\sin i} = \sin (s + \Delta v),$$

где s – дуга, лежащая в плоскости движения КМ и соединяющая его положение в момент t_i с плоскостью экватора.

Совместное решение этих уравнений позволяет определить дугу s и наклонение орбиты КМ i

$$s = \arctg \left[\frac{\sin \Delta v \sin \varphi_{км} (t_i)}{\sin \varphi_{км} (t_{i+1}) - \cos \Delta v \sin \varphi_{км} (t_i)} \right],$$

$$i = \arcsin \left[\frac{\sin \varphi_{км} (t_i)}{\sin s} \right]. \quad (18)$$

Итак, по формулам (14–18) можно вычислить элементы орбит космического мусора с помощью измерений его параметров бортовыми оптическими датчиками, установленными на КА.

Оценим ошибки вычислений, вызванные введением отмеченного выше допущения, и определим диапазон исходных условий, при которых предлагаемый метод работает с удовлетворительной точностью.

Сравнительный анализ численных результатов расчетов элементов орбит, полученных для широкого диапазона изменения величин Δt , $\Delta \vartheta$, r_0 , r_1 по разработанному методу и с использованием итерационного метода [8], показал, что при изменении Δt (а, следовательно, и $\Delta \vartheta$) в течение одного полувитка вычислительные погрешности δp , δe , δa имеют ярко выраженные максимумы, реализующиеся при некоторых величинах $\Delta t^* (0 < \Delta t^* \leq 0,5 T)$, т. е.

$$\delta p_{\max} = \delta p(\Delta t^*), \quad \delta e_{\max} = \delta e(\Delta t^*), \quad \delta a_{\max} = \delta a(\Delta t^*).$$

При этом значения δp_{\max} , δe_{\max} , δa_{\max} возрастают с увеличением эксцентриситета орбиты. Так, если для орбиты искусственно-го спутника Земли (ИСЗ) с высотами $h_\pi = 500$ км и $h_a = 700$ км ($e = 1,434 \cdot 10^{-2}$) максимальные значения ошибок составляют: $\delta p_{\max} = \delta a_{\max} \approx 0,2 \%$, $\delta e_{\max} \approx 5,3 \%$, то при $h_\pi = 500$ км и $h_a = 1000$ км ($e = 3,5 \cdot 10^{-2}$) $\delta a_{\max} \approx 0,49 \%$, $\delta p_{\max} \approx 0,47 \%$, $\delta e_{\max} \approx 6,8 \%$, а при $h_\pi = 500$ км и $h_a = 5000$ км ($e = 0,408$) $\delta a_{\max} \approx 15,9 \%$, $\delta p_{\max} \approx 8,6 \%$, $\delta e_{\max} \approx 40 \%$.

Итак, проведенное исследование позволило установить, что предлагаемый метод для низкокруговых орбит ИСЗ ($e \leq 0,04$) имеет методические ошибки, не превышающие 2 % при угловых расстояниях между радиус-векторами r_0 и r_1 , не более 90° и не превосходящее 0,3–0,5 % при угловых расстояниях менее 25° .

Для орбит ИСЗ с $e > 0,04$ при достаточно больших интервалах времени Δt точность расчетов может заметно ухудшиться. Поэтому представляется необходимым определить максимально допустимый интервал Δt , при котором максимальные ошибки вычислений не превышают заранее установленной величины. Из рассмотрения данных, часть из которых представлена на рис. 4, 5, видно, что ошибки расчетов, не превышающие 1 %, могут быть получены для орбиты ИСЗ с высотой перицентра $h_\pi = 500$ км при следующих условиях: для $h_a = 1000$ км при $\Delta t \leq 200$ –300 с; для $h_a = 10\,000$ км при $\Delta t \leq 70$ –80 с; для $h_a = 36\,000$ км при $\Delta t \leq 35$ –40 с.

Для всех расчетных вариантов были определены значения $A(r_1)$, $A(r_0)$, $B(r_0)$ с целью проверки выполнения условий (10) и (11). Установлено, что во всем диапазоне исходных данных, где ошибки вычислений не превышают 1–2 %, эти условия удовлетворяются. В таблице показаны расчеты параметров $A(r)$, $B(r)$.

Таким образом, проведенные исследования показали высокую точность использования предложенного метода для расчета элементов кеплеровских орбит с малым эксцентриситетом ($e \leq 0,04$) при угловых расстояниях между двумя радиус-векторами, не превышающих 25° . Метод может быть

Расчеты параметров $A(r)$, $B(r)$
Calculations of parameters $A(r)$, $B(r)$

r_0 , км	r_1 , км	Δt , с	$\Delta\vartheta$, град	$A(r_0)$	$A(r_1)$	$A^2(r_0)+A^2(r_1)$	$B(r_0)$	$B(r_1)$	$B^2(r_0)+B^2(r_1)$
6921	6971	480	30	-0,48	$1,95 \cdot 10^{-2}$	0,24	-0,499	$4,7 \cdot 10^{-4}$	0,25
6921	7021	965	60	-0,48	0,516	0,5	-0,499	0,5	0,5
6921	6971	263	17	-0,78	-0,576	0,95	-0,799	-0,599	0,997
6921	7071	680	42	-0,78	-0,165	0,65	-0,799	-0,2	0,678
6921	7171	1060	65	-0,78	0,234	0,67	-0,799	0,199	0,678
6921	7271	1490	90	-0,78	0,623	1	-0,799	0,599	1
6921	6971	93	6,5	-0,96	-0,927	1,7	-0,977	-0,955	1,866
6921	7171	330	22	-0,96	-0,788	1,55	-0,977	-0,866	1,704
6921	7371	504	33	-0,96	-0,657	1,36	-0,977	-0,778	1,56
6921	8571	1280	75	-0,96	$1,86 \cdot 10^{-3}$	0,93	-0,977	-0,245	1,015
6921	6971	72	5	-0,97	-0,944	1,83	-0,983	-0,973	1,913
6921	7171	255	18	-0,97	-0,85	1,66	-0,983	-0,932	1,835
6921	7371	385	27	-0,97	-0,762	1,52	-0,983	-0,889	1,756
6921	6971	55	4,5	-0,98	-0,965	1,89	-0,997	-0,994	1,982
6921	7171	190	15	-0,98	-0,9	1,77	-0,997	-0,983	1,96

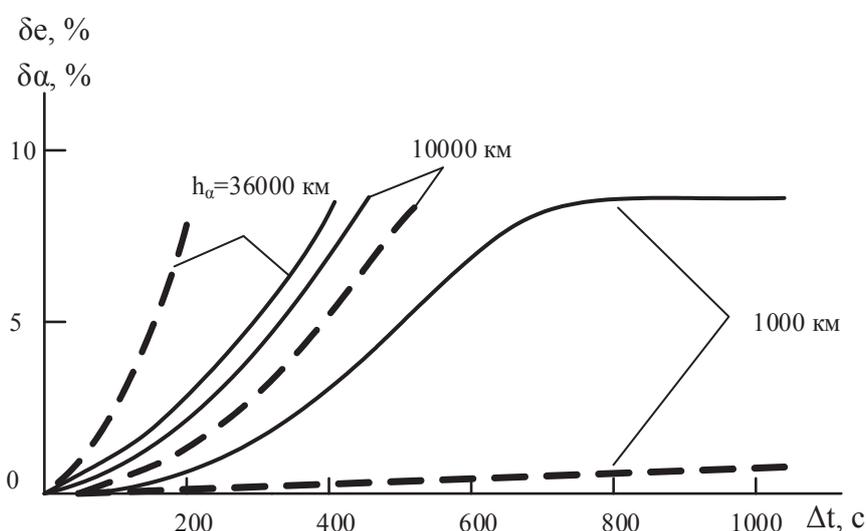


Рис. 4. Изменение погрешностей вычисления эксцентриситета δe и большой полуоси δa от времени полета КА между двумя фиксированными положениями Δt ($h_{\pi} = 500$ км): Сплошные линии – зависимости для δe . Штриховые линии – зависимости для δa

Fig. 4. Measurement of errors in calculating δe eccentricity and semi-major axis of the flight time δa spacecraft between two fixed positions Δt ($h_{\pi} = 500$ km): Solid lines – according to δe . Dashed lines – according to δa

применен также для определения элементов высокоэллиптических орбит ($e \approx 0,3 \div 0,7$), когда время полета КА между двумя фиксированными положениями не более 4÷8 мин. Погрешности определения орбитальных параметров не превышают 0,5 %. Продолжительность вычислений сокращается в ~10 раз по сравнению с известными итерационными методами [8–11].

Предлагаемый метод принципиально позволяет обеспечить расчеты параметров

орбит фрагментов космического мусора в выявленном диапазоне изменения исходных условий при требуемой точности вычислений, что дает возможность оперативно вырабатывать рекомендации по проведению маневров уклонения КА и тем самым повысить уровень безопасности полетов управляемых КА. Вместе с тем, для окончательной оценки точности расчетов необходим учет возмущающих факторов, влияющих на динамику движения космических объектов: погрешности

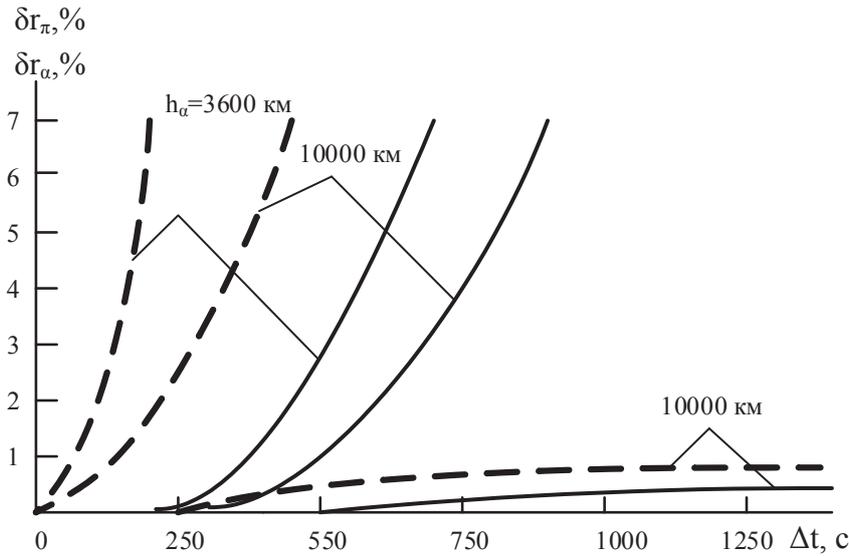


Рис. 5. Изменение погрешностей вычисления радиусов апоцентра δr_α и перигея δr_π от времени полета КА между двумя фиксированными положениями Δt ($h_\pi = 500$ км): Сплошные линии – зависимость для δr_π . Штриховые линии – зависимость для δr_α .
 Fig. 5. Measurement of errors in calculating radii apocenter δr_α and pericenter δr_π of flight time between the two spacecraft fixed positions Δt ($h_\pi = 500$ km): Solid line – dependence for δr_π . Dashed line – dependence for δr_α .

реализации управляющих воздействий, измерений, изменения баллистического коэффициента. На основе описанного метода разработан и запатентован способ определения параметров орбит космических объектов с использованием данных измерений оптических датчиков КА [14].

Алгоритм поддержки принятия управленческих решений при проведении маневров уклонения КА от космического мусора

Использование разработанного метода дает возможность на основе идентификации фрагментов космического мусора выработать автономные решения по уклонению управляемых КА. Опишем процесс выработки управленческих решений, содержащий следующие основные этапы.

Этап 1. С помощью бортовых оптических датчиков, составляющих основу блока идентификации полетных ситуаций системы, непрерывно формируются зоны видимости околоземного космического пространства. Бортовыми датчиками проводятся измерения координат космических объектов, попадающих в эти зоны. Как было отмечено, в качестве измерительной информации использу-

ются: расстояния между управляемыми КА и наблюдаемыми объектами Δr , углы между радиус-вектором $\overline{\Delta r}$ и местным горизонтом ω и между $\overline{\Delta r}$ и плоскостью движения КА β . Целесообразно проводить измерения через минимально возможные интервалы времени в течение всего периода нахождения космического объекта в зоне видимости бортовых датчиков. Это позволит снизить погрешности расчетов траекторий движения исследуемых космических объектов.

На борту КА определяются и непрерывно уточняются параметры движения космического объекта $X_{ко}$: фокальный параметр P , истинная аномалия ϑ_φ , эксцентриситет e , большая полуось a , наклонение i в зависимости от измеряемых данных $\Delta r_p, \omega_p, \beta_i$

$$X_{коi}(P, \vartheta_\varphi, e, a, i) = F(\Delta r_p, \omega_p, \beta_i).$$

Далее, зная значения орбитальных параметров управляемых КА $X_{ка}$ и космического объекта $X_{ко}$, с применением известных вычислительных алгоритмов [15] определяются минимальные относительные расстояния между этими объектами и вероятности их столкновения на установленных временных интервалах прогнозирования дальнейшего полета.

Данные обо всех идентифицированных космических объектах заносятся в память

бортового компьютера КА с последующим их включением в каталог фрагментов космического мусора. Объекты, вероятность столкновения с которыми превышает величину $P_c > 10^{-4}$, идентифицируются как потенциально опасные для управляемого КА и подвергаются непрерывному наблюдению измерительными средствами, в первую очередь, с точки зрения оценки динамики изменения вероятности столкновения P_c . Относительно объектов, характеризуемых устойчивым высоким уровнем вероятности $P_c > 10^{-4}$, принимается решение о проведении маневра уклонения КА. Дадим формальное описание событиям S_p , характеризующим дальнейшие операции по управлению КА

$S_1 : P_c > 10^{-4}$ – необходимо проведение маневра уклонения КА;

$S_2 : P_c < 10^{-4}$ – отсутствие необходимости в проведении маневра уклонения КА.

Таким образом, блок идентификации полетных ситуаций обеспечивает выявление потенциально опасных космических объектов и выдает на машину логических заключений системы управления информацию об орбитальных параметрах этих объектов, координатах взаимного расположения управляемого КА и опасного объекта в момент их максимального сближения. В дальнейшем представляет практический интерес рассмотрение только тех случаев, когда будут проводиться ракетодинамические маневры уклонения КА.

Этап 2. Целевой функцией машины логических заключений совместно с базой знаний на этом этапе работы системы автономного управления является определение рациональных программ реализации маневра уклонения КА от выявленного потенциально опасного фрагмента космического мусора. Стратегии выбора программ управления вектором тяги двигательной установки во многом зависят от целевого назначения КА.

При рассмотрении КА, не входящих в состав орбитальных группировок с правильным баллистическим построением, достаточно проведения маневра уклонения КА с целью увеличения относительного расстояния до потенциально опасного объекта в момент

максимального сближения. Такие маневры осуществляются, как правило, путем приложения к КА небольших (порядка нескольких м/с) разгонных импульсов характеристической скорости. Формальная запись базового решающего правила имеет вид

$$\text{если } S_1, \text{ то } P(\Delta t) = P_{\max}, a = \beta = 0,$$

где $\Delta t = \frac{m\Delta V}{P_{\max}}$, $\Delta V = 1 \div 2$ м/с.

Более сложные программы реализации маневров уклонения имеют место при управлении КА, входящих в состав правильно построенных орбитальных группировок, или геостационарными спутниками. Проведение простых маневров по увеличению скорости КА в первом случае приведет к нарушению требований по равенству расстояний между двумя соседними аппаратами группировки, движущимися в одной плоскости (требования к баллистическому построению правильных орбитальных систем), а во втором случае – к нарастающему отклонению географической долготы подспутниковой точки геостационарного КА от заданного положения. В этих условиях рациональная программа маневрирования КА формируется на основе применения методов и алгоритмов оптимального управления вектором тяги двигательной установки, изложенных в работе [16].

Этап 3. Сформированная с помощью базы знаний и машины логических заключений программа управления передается на блок моделирования и прогнозирования параметров движения КА. Средствами этого блока определяется наличие (или отсутствие) опасных ситуаций для управляемого аппарата после проведения им ракетодинамического маневра уклонения от выявленного ранее потенциально опасного космического объекта. Учитывая прогнозируемые координаты движения КА и используя существующий в блоке каталог фрагментов космического мусора, выявляем новые потенциально опасные объекты, определяются минимальные расстояния между КА и этими объектами, рассчитываются вероятности их столкновений P_c . В случае, если вероятности столкновений со всеми выявленными объектами P_c будут меньше, чем 10^{-4} , то делается вывод о про-

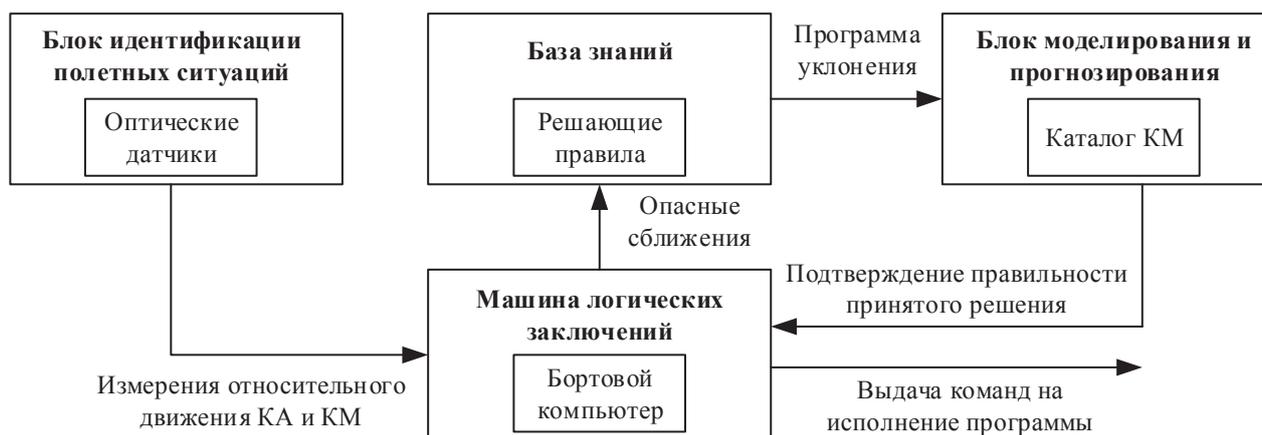


Рис. 6. Схема функционирования системы управления КА
 Fig. 6. Driving spacecraft control system operation

ведении рекомендуемого маневра уклонения КА. В противном случае необходимо вносить корректировку в программу управления. В зависимости от взаимного расположения КА и фрагментов космического мусора коррективы программы проведения маневров могут быть связаны либо с изменением величины импульса характеристической скорости ΔV , либо с введением боковой составляющей корректирующего импульса ($\beta \neq 0$).

После подтверждения средствами блока моделирования и прогнозирования правильности рекомендуемой программы маневра уклонения КА и его реализации проводится идентификация других космических объектов, находящихся в зоне видимости бортовых оптически датчиков с использованием описанной выше технологии.

Схема функционирования системы автономного управления в процессе принятия решений по уклонению КА от фрагментов КМ приведена на рис. 6.

Таким образом, применение описанного алгоритма поддержки принятия управленческих решений в процессе идентификации и уклонения КА от фрагментов техногенного происхождения с помощью бортовых средств позволит качественно повысить уровень безопасности полетов за счет дополнительного выявления опасных сближений управляемых аппаратов с мало- и среднеразмерными объектами. Кроме того, внедрение таких алгоритмов в практику управления космическими аппаратами дает возможность существенно

расширить каталог фрагментов космического мусора, что во многом будет способствовать обеспечению безопасности полетов перспективных орбитальных группировок пилотируемых и автоматических КА.

Библиографический список

1. Ivanov V.M., Sokolov N.L. The role, place and development prospects of the russian hazard alarm system in the integration of international efforts to provide safe space activities. 64th International Astronautical Congress (IAC), Beijing, China, 23–27 september, 2013. IAC-13, A6,7,5, x16827.
2. Ivanov V.M., Sokolov N.L., Kozlov V.G., Kormienko Y.A. Application prospects of the russian hazard alarm system supporting safe flights of operated space vehicles. 6-th European Conference on Space Debris Darmstadt, Germany, 22–25 April, 2013. pp. 53–54.
3. Катупев, А.Н. Адаптивный метод и алгоритм обнаружения мало-контрастных объектов оптико-электронным средством / А.Н. Катупев, А.А. Колонсков, А.А. Храмычев и др. // Оптический журнал. – 2014. – Т. 81. – № 2. – С. 29–39.
4. Каталог космических объектов командования воздушно-космической обороны Северной Америки (NORAD, North American Aerospace Defense Command) 2016 <https://www.space-track.org>
5. Микрин, Е.А. Бортовые комплексы управления космических аппаратов: учеб. пособие / Е.А. Микрин. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, – 2014. – 245 с.
6. Соколов, Н.Л. Информационно-аналитическое обеспечение автономного управления космическими аппаратами / Н.Л. Соколов, П.А. Захаров // Проблемы управления (Control sciences). – 2015. – № 6. – С. 62–69.
7. Иванов, В.М. Место и роль АСПОС ОКП в управлении пилотируемых и автоматических космических аппаратов / В.М. Иванов, Н.Л. Соколов, В.Ф. Бендяков // Второй международный специализированный симпозиум «Космос и глобальная безопасность человечества». – Рига, – 2010. – С. 33–34.
8. Бетгин, Р. Наведение в космосе / Р. Бетгин. – М.: Машиностроение. 1966. – 447 с.
9. Sun F.T. A new treatment of Lambertian mechanics. Acta Astronautica. 1981. v. 8. № 2. pp. 105-122.

10. Plummer M. C. An introductory treatise on dynamical astronomy. N.Y.: Dover publ. Inc. 1960.
11. Baker R.M. L., Jr., Makemson M.W. An introduction to Astrodynamics. N.Y.: Acad. Press. Inc. 1960.
12. Иванов, В.М. Движение космических летательных аппаратов в атмосферах планет / В.М. Иванов, А.И. Мартынов. – М.: Наука, 1985. – 384 с.
13. Эльясберг, П.Е. Введение в теорию полета искусственных спутников Земли / П.Е. Эльясберг. – М.: Наука, 1965. – 537с.
14. Иванов, В.М., Соколов Н.Л., Козлов В.Г., Захаров П.А., Карцев Ю.А. Способ определения параметров орбиты космического объекта. Патент № 2531433 от 25.08.2014.
15. Кондрашин, М.А. Разработка алгоритмов выявления объектов, потенциально опасных для управляемых космических аппаратов / М.А. Кондрашин // Космонавтика и ракетостроение. – 2010. – № 1 (58). – С. 153–157.
16. Иванов, В.М. Оптимальное управление космическим аппаратом за счет изменения вектора тяги двигательной установки при проведении межорбитальных маневров / В.М. Иванов, Н.Л. Соколов // Космонавтика и ракетостроение – 2014. – № 2 (75). – С. 80–88.

AUTONOMOUS IDENTIFICATION OF ORBIT PARAMETERS OF POTENTIALLY HAZARDOUS SPACE OBJECTS BY ONBOARD ASSETS

Sokolov N.L., TsNIIMash, MCC, Ph.D. (Tech.)⁽¹⁾, Zakharov P.A. TsNIIMash, MCC⁽¹⁾

sokolov@mcc.rsa.ru, zakharovp@gmail.com

⁽¹⁾Central Research Institute of Machine Building (FSUE TsNIIMash), 141070, Moscow region, Korolev, st. Pioneer, 4

The problem of identification of man-made objects with the use of onboard spacecraft control assets is researched. The method is developed for orbit determination of space debris fragments. After the transformation of the initial system of differential equations the analytical dependences are composed which connect data obtained after the information processing, with the Kepler orbit area integral of the explored object. The calculation accuracy of orbit parameters with different altitudes is evaluated. The algorithms of decision-making support are described, implemented by the facilities of autonomous control system. The functional layout of the autonomous system is presented. It is showed that the implementation of the developed methods and algorithms in the control practice allows raising the level of spacecraft flight safety due to the detection of additional hazardous approaches with small and medium-sized space objects which can't be identified with the use of ground facility instrumentation.

Key words: Autonomous control system, identification of space objects, space debris, onboard assets, method of orbit determination, evaluation of calculation accuracy, algorithm of control decision-making.

References

1. Ivanov V.M., Sokolov N.L. *The role, place and development prospects of the russian hazard alarm system in the integration of international efforts to provide safe space activities*. 64th International Astronautical Congress (IAC), Beijing, China, 23–27 sept., 2013. IAC-13, A6,7,5, x16827.
2. Ivanov V.M., Sokolov N.L., Kozlov V.G., Kornienko Y.A. *Application prospects of the russian hazard alarm system supporting safe flights of operated space vehicles*. 6-th European Conference on Space Debris Darmstadt, Germany, 22–25 April, 2013. pp.53-54.
3. Katulev A.N., Kolonskov A.A., Khramichev A.A., Yagol'nikov S.V. *Adaptivnyy metod i algoritm obnaruzheniya malokontrastnykh ob'ektov optiko-elektronnyim sredstvom* [Adaptive method and algorithm for the detection of low-contrast objects opto–electronic means] *Opticheskiy zhurnal*. 2014. T. 81. № 2. pp. 29–39.
4. *Katalog kosmicheskikh ob'ektov komandovaniya vozdushno-kosmicheskoy oborony Severnoy Ameriki* [Catalog of space objects North American Aerospace Defense Command] (NORAD, North American Aerospace Defense Command) 2016. Elektronnyy resurs. <https://www.space-track.org>
5. Mikrin E. A. *Bortovye komplekсы upravleniya kosmicheskikh apparatov: ucheb. posobie* [Onboard spacecraft control systems: a tutorial] Moscow, MGTU im. N. E. Baumana. 2014. 245 p.
6. Sokolov N.L., Zakharov P.A. *Informatsionno-analiticheskoe obespechenie avtonomnogo upravleniya kosmicheskimi apparatami* [Development prospects of information and analytical support of spacecraft control systems]. *Problemy upravleniya*. 2015. № 6. 62–69pp.
7. Ivanov V.M., Sokolov N.L., Bendyakov V.F. *Mesto i rol' ASPOS OKP v upravlenii pilotiruemykh i avtomaticheskikh kosmicheskikh apparatov* [The place and role ASPOS ECV in the management of manned and unmanned spacecraft] *Vtoroy mezhdunarodnyy spetsializirovanny simpozium «Kosmos i global'naya bezopasnost' chelovechestva»*. Riga, Latvia on 5-9 July. 2010. pp. 33-34.
8. Bettin R. *Navedenie v kosmose* [Guidance in space] Mashinostroenie, Moscow, 1966. 447p.
9. Sun F.T. A new treatment of Lambertian mechanics. *Acta Astronautica*. 1981. v. 8. № 2. pp. 105-122.
10. Plummer M. C. An introductory treatise on dynamical astronomy. N.Y.: Dover publ. Inc. 1960.
11. Baker R.M. L., Jr., Makemson M.W. An introduction to Astrodynamics. N.Y.: Acad. Press. Inc. 1960.
12. Иванов В.М., Мартынов А.И. *Dvizhenie kosmicheskikh letatel'nykh apparatov v atmosferakh planet* [The motion of spacecraft in planetary atmospheres] Nauka Moscow, 1985. 384p.
13. El'yasberg P.E. *Vvedenie v teoriyu poleta iskusstvennykh sputnikov Zemli* [Introduction to the theory of flight of artificial satellites]. Nauka Moscow 1965. 537p.
14. Ivanov V.M., Sokolov N.L., Kozlov V.G., Zakharov P.A., Kartsev Yu.A. *Sposob opredeleniya parametrov orbity kosmicheskogo ob'ekta*. [The method of determining the parameters of a space object's orbit]. Патент № 2531433 от 25.08.2014.
15. Kondrashin M.A. *Razrabotka algoritmov vyyavleniya ob'ektov, potentsial'no opasnykh dlya upravlyaemykh kosmicheskikh apparatov* [Development of algorithms to identify objects, potentially controlled spacecraft]. *Kosmonavtika i raketostroenie*, 2010. № 1 (58), pp. 153–157.
16. Ivanov V.M., Sokolov N.L. *Optimal'noe upravlenie kosmicheskim apparatom za schet izmeneniya vektora tyagi dvigatel'noy ustanovki pri provedenii mezhorbital'nykh manevrov* [Optimal control of the spacecraft by changing the thrust vector of the propulsion system during maneuvers interorbital]. *Kosmonavtika i raketostroenie*, 2014. № 2 (75), pp. 80–88.

УДК 378.1

НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ МОНИТОРИНГА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗОВ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

В.В. НИКИТИН, *проф. МГУЛ, канд. техн. наук*⁽¹⁾,В.С. ШАЛАЕВ, *проф. МГУЛ, д-р техн. наук*⁽¹⁾,В.И. ПАНФЕРОВ, *доц. МГУЛ, канд. техн. наук*⁽¹⁾*nick@mgul.ac.ru, shalaev@mgul.ac.ru, panferov@mgul.ac.ru*⁽¹⁾ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1

Приводятся некоторые итоги мониторинга деятельности семи вузов лесотехнического профиля за 2012–2015 гг.: Брянской государственной инженерно-технической академии, Воронежской государственной лесотехнической академии (в настоящее время, Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова), Московского государственного университета леса, Поволжского государственного технологического университета, Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, Сибирского государственного технологического университета, Уральского государственного лесотехнического университета. Рассматриваются общие показатели мониторинга эффективности, с одной стороны, а с другой – анализируются показатели по основным видам деятельности: образовательному, научно-исследовательскому, международному, финансово-экономическому. Отмечено, что результаты мониторинга деятельности основных вузов лесотехнического профиля 2015 г. не подтверждают, но и не отвергают основные выводы, сделанные по итогам предшествующих мониторингов. Наиболее проблемная составляющая деятельности всех рассмотренных вузов – образовательная; прочие виды деятельности варьируются по разным вузам в разные годы. Можно подчеркнуть для этой группы лидирующее место двух вузов – Поволжского государственного технологического университета и Московского государственного университета леса. При этом в МГУЛ показатели «образовательная деятельность» и «заработная плата ППС» находятся в зоне риска, что требует активных действий коллектива по решению данных проблем.

Ключевые слова: мониторинг, вузы лесотехнического профиля.

В июне 2015 г. Министерство образования и науки в очередной раз подвело и опубликовало итоги мониторинга эффективности высших учебных заведений нашей страны. Общеизвестно, что главная цель мониторинга образовательных учреждений, в первую очередь вузов, сформулированная в Указе Президента Российской Федерации «О мерах по реализации государственной политики в области образования и науки» от 7 мая 2012 г. – это проведение «...оценки эффективности их работы, реорганизации неэффективных государственных образовательных учреждений...»[2].

Результативность мониторинга деятельности образовательных организаций высшего образования рассмотрим на примере вузов лесотехнического профиля, традиционно работающих на благо лесного комплекса страны. В качестве примера возьмем наиболее известные лесные вузы, такие как (в алфавитном порядке): Брянская государственная инженерно-техническая академия (БГИТА), Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Моро-

зова (ВГЛТУ), ранее Воронежская государственная лесотехническая академия (ВГЛТА), Московский государственный университет леса (МГУЛ), Поволжский государственный технологический университет (Волгатех), Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова (СПбГЛТУ), Сибирский государственный технологический университет (СибГТУ) и Уральский государственный лесотехнический университет (УГЛТУ). В таблицах 1–4 приведены значения показателей эффективности вышеперечисленных вузов по итогам мониторинга за 2011–2014 гг. [2–3]. Данные таблиц 1–3 были проанализированы ранее [9].

Рассмотрим итоги мониторинга вузов лесотехнического профиля более детально. В частности, изучим показатели, характеризующие эффективность деятельности каждого лесного вуза в наиболее характерных сферах: образовательной; научно-исследовательской; международной; финансово-экономической (табл. 5–9).

Образовательная деятельность (табл. 5) оценивалась показателем «Средний

Значения показателей по итогам мониторинга деятельности вузов (2011 г.)

The values of indicators for monitoring the results of universities (2011)

Наименование вуза	Значения показателей по видам деятельности				
	образовательная	научно-исследовательская	международная	финансово-экономическая	инфраструктура
БГИТА	<u>59,309</u> 60	<u>14,583</u> 50	<u>0,0188</u> 0,7	<u>762,499</u> 1100	<u>10,302</u> 11
ВГЛТА	<u>53,573</u> 60	<u>36,344</u> 50	<u>0,0729</u> 0,7	<u>982,502</u> 1100	<u>10,211</u> 11
МГУЛ	<u>59,413</u> 60	<u>71,481</u> 50	<u>0,0087</u> 0,7	<u>1123,533</u> 1100	<u>16,558</u> 11
Волгатех	<u>59,52</u> 60	<u>122,696</u> 50	<u>0,0</u> 0,7	<u>1265,77</u> 1100	<u>10,919</u> 11
СПбГЛТУ	<u>55,742</u> 63	<u>53,635</u> 75	<u>0,0583</u> 3	<u>1218,987</u> 1500	<u>16,695</u> 13
СибГТУ	<u>53,037</u> 60	<u>71,933</u> 50	<u>0,0034</u> 0,7	<u>1000,996</u> 1100	<u>14,692</u> 11
УГЛТУ	<u>55,546</u> 60	<u>82,148</u> 50	<u>0,001</u> 0,7	<u>1385,63</u> 1100	<u>12,261</u> 11

Примечание: в знаменателе приведены пороговые значения показателей

Значения показателей по итогам мониторинга деятельности вузов (2012 г.)

The values of indicators for monitoring the results of universities (2012)

Наименование вуза	Значения показателей по видам деятельности					
	образова- тельная	научно-исследовательская	международная	финансово-экономическая	инфраструктура	трудоустройство
БГИТА	<u>55,88</u> 60	<u>44,86</u> 50	<u>2,03</u> 1	<u>1107,05</u> 1100	<u>11,25</u> 11	<u>96,684</u> 98,276
ВГЛТА	<u>54,56</u> 60	<u>75,56</u> 50	<u>9,94</u> 1	<u>1173,12</u> 1100	<u>10,39</u> 11	<u>98,236</u> 98,276
МГУЛ	<u>57,88</u> 60	<u>109,15</u> 50	<u>5,79</u> 1	<u>1350,87</u> 1100	<u>18,15</u> 11	<u>99,771</u> 98,276
Волгатех	<u>55,74</u> 60	<u>148,35</u> 50	<u>3,06</u> 1	<u>1925,5</u> 1100	<u>12,75</u> 11	<u>99,317</u> 98,243
СПбГЛТУ	<u>56,28</u> 63	<u>58,91</u> 75	<u>6,01</u> 3	<u>1649,81</u> 1500	<u>19,56</u> 13	<u>97,885</u> 98,684
СибГТУ	<u>53,41</u> 60	<u>124,38</u> 50	<u>0,32</u> 1	<u>1471,18</u> 1100	<u>14,4</u> 11	<u>97,748</u> 98,932
УГЛТУ	<u>51,04</u> 60	<u>167,64</u> 50	<u>1,11</u> 1	<u>1724,91</u> 1100	<u>14,81</u> 11	<u>98,241</u> 97,895

Примечание: в знаменателе приведены пороговые значения показателей

балл ЕГЭ студентов, принятых на обучение по программам бакалавриата и специалитета, по очной форме обучения». Необходимо подчеркнуть, что ни один вуз лесотехнического профиля в этом виде деятельности не преодолел установленного порогового значения. Изменения по сравнению с результатами 2013 г. незначительны (в пределах 10 %), и, за

исключением УГЛТУ (+0,2 %), у остальных вузов они в худшую сторону. Здесь можно и, видимо, должно предъявлять претензии, в первую очередь, к самим вузам, к уровню их профориентационной работы. Коллективы вузов должны более интенсивно работать в этом направлении. С другой стороны, значение этого показателя определяется и мотива-

Значения показателей по итогам мониторинга деятельности вузов (2013 г.)
The values of indicators for monitoring the results of universities (2013)

Наименование вуза	Значения показателей по видам деятельности						
	образова- тельная	научно-иссле- довательская	междуна- родная	финансово-эко- номическая	инфра- структура	трудоуст- ройство	дополнитель- ный показатель
БГИТА	<u>62,08</u> 60	<u>27,07</u> 51,28	<u>2,14</u> 1	<u>1338,84</u> 1327,57	<u>12,78</u> 13,92	<u>95,818</u> 98,516	<u>4,59</u> 2,78
ВГЛТА	<u>54,52</u> 60	<u>92,65</u> 51,28	<u>11,35</u> 1	<u>1332,12</u> 1327,57	<u>11,46</u> 13,92	<u>97,66</u> 98,516	<u>4,14</u> 2,78
МГУЛ	<u>58,1</u> 60	<u>115,94</u> 51,28	<u>5,82</u> 1	<u>1827,7</u> 1327,57	<u>18,53</u> 13,92	<u>98,698</u> 98,516	<u>3,97</u> 2,78
Волгатех	<u>62,36</u> 60	<u>154,81</u> 51,28	<u>3,68</u> 1	<u>1750,85</u> 1327,57	<u>12,81</u> 13,92	<u>99,437</u> 98,705	<u>4,73</u> 2,78
СПбГЛТУ	<u>55,63</u> 66,38	<u>55,97</u> 122,41	<u>6,38</u> 4,92	<u>1674,42</u> 1839,87	<u>20,37</u> 13,13	<u>98,488</u> 99,088	<u>4,31</u> 4,52
СибГТУ	<u>56,94</u> 60	<u>102,06</u> 70,1	<u>0,27</u> 1	<u>1534,65</u> 1566,11	<u>14,63</u> 14,51	<u>96,843</u> 97,778	<u>4,85</u> 2,87
УГЛТУ	<u>54,11</u> 60	<u>159,64</u> 70,1	<u>1,52</u> 1	<u>1788,66</u> 1566,11	<u>16,15</u> 14,51	<u>97,642</u> 97,848	<u>4,51</u> 2,87

Примечание: в знаменателе приведены пороговые значения показателей

Значения показателей по итогам мониторинга деятельности вузов (2014 г.)
The values of indicators for monitoring the results of universities (2014)

Наименование вуза	Значения показателей по видам деятельности						
	образова- тельная	научно-иссле- довательская	междуна- родная	финансово- экономическая	заработная плата ППС	трудоуст- ройство	дополнительный показатель
БГИТА	<u>53,6</u> 60	<u>67,7</u> 51,28	<u>2,06</u> 1	<u>1495,6</u> 1327,57	<u>128,97</u> 125	<u>75</u> 75	<u>4,71</u> 2,78
ВГЛТУ	<u>50,57</u> 60	<u>79,59</u> 51,28	<u>13,97</u> 1	<u>1494,81</u> 1327,57	<u>128,41</u> 125	<u>70</u> 75	<u>4,31</u> 2,78
МГУЛ	<u>53,15</u> 60	<u>140,07</u> 51,28	<u>5,38</u> 1	<u>2623,9</u> 1327,57	<u>97,51</u> 125	<u>*</u> 75	<u>3,84</u> 2,78
Волгатех	<u>59,4</u> 60	<u>92,68</u> 51,28	<u>4,68</u> 1	<u>1738,09</u> 1327,57	<u>156,34</u> 125	<u>80</u> 80	<u>4,75</u> 2,78
СПбГЛТУ	<u>56,19</u> 66,38	<u>99,51</u> 122,41	<u>6,38</u> 4,92	<u>1791,25</u> 1839,87	<u>98,51</u> 125	<u>85</u> 75	<u>4,53</u> 4,52
СибГТУ	<u>53,07</u> 60	<u>105,77</u> 70,1	<u>1,43</u> 1	<u>2177,54</u> 1566,11	<u>107,85</u> 125	<u>80</u> 75	<u>3,86</u> 2,87
УГЛТУ	<u>55,1</u> 60	<u>108,71</u> 70,1	<u>1,52</u> 1	<u>1966,44</u> 1566,11	<u>123,65</u> 125	<u>65</u> 80	<u>4,75</u> 2,87

Примечания: в знаменателе приведены пороговые значения показателей; * – не представлены сведения в Федеральном реестре документов об образовании (ФРДО)

цией абитуриентов, сферой их будущей деятельности, престижностью и сегодняшним экономическим состоянием лесной отрасли. Об этом сегодня достаточно много говорится в прессе. Не говоря об отношении государства к лесному комплексу, что, по нашему мнению, требует отдельного анализа, заметим лишь,

что состоянию лесной отрасли сегодня явно не уделяется должного внимания. Проблемы в экономике не позволяют надеяться на кардинальное улучшение и в ближайшем будущем. Как и ранее, наибольшее значение данного показателя имел **Поволжский государственный технологический университет** (табл. 5).

Основные показатели, характеризующие образовательную деятельность вуза
Major indices, characterizing the activities of an educational institution

Наименование вуза	Значение показателя мониторинга эффективности деятельности	Общее число студентов, обучающихся по программам бакалавриата, специалитета, магистратуры	Средний балл ЕГЭ студентов, принятых на обучение по программам бакалавриата и специалитета, по всем формам обучения	Общая численность слушателей программ ДПО	Общая численность обучающихся по программам среднего профессионального образования
ВГЛТУ	$\frac{50,67}{60}$	5191	50,14	1806	0
МГУЛ	$\frac{53,15}{60}$	7301	52,51	1110	0
Волгатех	$\frac{59,4}{60}$	9142	58,28	1585	1268
СПбГЛТУ	$\frac{55,19}{66,38}$	6519	54,97	963	438
СибГТУ	$\frac{53,07}{60}$	8502	52,28	2697	0
УГЛТУ	$\frac{55,1}{60}$	5697	54,84	6798	354

Примечание: в знаменателе графы 2 приведены пороговые значения показателя

Основные показатели, характеризующие научно-исследовательскую деятельность вуза
Major indices, characterizing the research activities of the university

Наименование вуза	Значение показателя мониторинга эффективности деятельности	Общий объем НИОКР, выполненных собственными силами	Общее количество публикаций организации в расчете на 100 НПР	Общая численность аспирантов	Общая численность докторантов
БГИТА	$\frac{67,7}{51,28}$	14893,9	260,91	31	1
ВГЛТУ	$\frac{79,59}{51,28}$	13213,9	549,54	59	1
МГУЛ	$\frac{140,07}{51,28}$	57779,1	94,3	115	5
Волгатех	$\frac{92,62}{51,68}$	59853,6	176,26	266	4
СПбГЛТУ	$\frac{99,51}{122,41}$	35261,5	324,27	124	4
СибГТУ	$\frac{105,77}{70,1}$	43889,0	431,39	105	4
УГЛТУ	$\frac{108,71}{70,1}$	37428,7	305,78	162	2

Примечание: в знаменателе графы 2 приведены пороговые значения показателя

Научно-исследовательская деятельность (табл. 6). Трудно сформулировать общую для всех вузов тенденцию изменения рассматриваемого показателя мониторинга их деятельности. Можно отметить лишь два вуза с отчетливо выраженной в последние

3–4 года динамикой: Уральский государственный лесотехнический университет по ухудшению и **Московский государственный университет леса** по кардинальному (практически в два раза) улучшению значения данного показателя. При этом научно-иссле-

Основные показатели, характеризующие международную деятельность вуза
Major indices, characterizing the activities of the international university

Наименование вуза	Значение показателя мониторинга эффективности деятельности	Общая численность иностранных студентов	Доля иностранных студентов в общей числ. студентов	Общая численность иностранных аспирантов	Доходы вуза из иностранных источников	
					на выполнение НИОКР	от образовательной деятельности
БГИТА	$\frac{2,06}{1}$	130	3,76	1	0	1175,50
ВГЛУ	$\frac{13,97}{1}$	410	7,90	5	0	0
МГУЛ	$\frac{5,38}{1}$	293	4,01	2	3984,0	0
Волгатех	$\frac{4,68}{1}$	305	3,34	0	2111,70	4538,30
СПбГЛУ	$\frac{6,83}{4,92}$	327	5,02	19	1448,10	24584,90
СибГТУ	$\frac{1,43}{1}$	82	0,96	0	0	404,10
УГЛУ	$\frac{1,58}{1}$	131	2,30	7	0	987,00

Примечание: в знаменателе графы 2 приведены пороговые значения показателя

Основные показатели, характеризующие финансово-экономическую деятельность вуза
The main indicators characterizing the financial and economic activity of high school

Наименование вуза	Значение показателя мониторинга эффективности деятельности	Доходы вуза из	
		всех источников	внебюджетных источников
БГИТА	$\frac{1495,6}{1327,57}$	329 924,50	114 315,00
ВГЛУ	$\frac{1494,81}{1327,57}$	423 720,20	150 342,60
МГУЛ	$\frac{2623,9}{1327,57}$	1 214 585,70	193 193,90
Волгатех	$\frac{1738,09}{1327,57}$	1 134 658,70	245 891,20
СПбГЛУ	$\frac{1791,25}{1839,87}$	670 853,20	200 512,10
СибГТУ	$\frac{2177,54}{1566,11}$	969 657,40	305 361,10
УГЛУ	$\frac{1966,44}{1566,11}$	704 246,60	284 045,80

Примечание: в знаменателе графы 2 приведены пороговые значения показателя

довательскому сектору МГУЛ следует обратить внимание на снижение дополнительного показателя «Общее количество публикаций организации в расчете на 100 ННР». Хотя это значение, очевидно, не оказывает критического влияния на величину основного показателя, но общую картину, безусловно, портит.

Международная деятельность (табл. 7). Большинство рассматриваемых вузов (ВГЛУ, Волгатех, СПбГЛУ, СибГТУ, УГЛУ) за последние три года стабильно улучшают рассматриваемый показатель мониторинга эффективности, возможно, за счет уменьшения общего контингента студентов,

Основные показатели, характеризующие заработную плату ППС вуза
Major indices, characterizing the wages of high school faculty

Наименование вуза	Значение показателя мониторинга эффективности деятельности	Средняя заработная плата (тыс. руб.) (без внешних совместителей и работающих по договорам ГПХ)	
		ППС	научных работников
БГИТА	$\frac{128,97}{125}$	26,70	22,74
ВГЛТУ	$\frac{128,41}{125}$	31,06	14,32
МГУЛ	$\frac{97,51}{125}$	39,20	69,78
Волгатех	$\frac{156,34}{125}$	32,22	24,90
СПбГЛТУ	$\frac{98,51}{125}$	41,52	45,16
СибГТУ	$\frac{107,85}{125}$	36,75	0,00
УГЛТУ	$\frac{123,65}{125}$	37,34	44,50

Примечание: в знаменателе графы 2 приведено пороговое значение показателя

так как значение данного показателя исчисляется как «Доля иностранных студентов в общей численности студентов в относительном выражении». Несмотря на отсутствие доходов вуза из иностранных источников, лидером, несомненно, является **Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова** (ранее академия). В МГУЛ, при достаточно большом значении рассматриваемого показателя, тем не менее, отмечается некоторое его снижение по сравнению с прошлыми годами.

Финансово-экономическая деятельность (табл. 8). По этому показателю, и в абсолютном и относительном отношении, лидером является **Московский государственный университет леса**. Отметим, что пять из семи вузов (БГИТА, ВГЛТА, МГУЛ, СибГТУ, УГЛТУ) постоянно, в течение четырех лет, увеличивают рассматриваемый показатель мониторинга эффективности деятельности. МГУЛ при этом имеет наибольшую положительную динамику.

Средняя заработная плата ППС (табл. 9). Данный показатель мониторинга эффективности вузов был использован Минобрнауки РФ в 2014 г. впервые. Его значение вычислялось как отношение фактической за-

платы преподавательского состава к средней величине заработной платы в регионе, где расположен вуз. Такой подход установлен министерством в соответствии с Указом Президента РФ В.Путина «О мероприятиях по реализации государственной социальной политики» от 7 мая 2012 г. [1]. Согласно этому документу, средняя зарплата вузовских преподавателей должна была в 2014 г. составлять 125 % (пороговое значение 125 – см. табл.9, графа 2, в знаменателе) от средней по региону. Данные таблицы свидетельствуют, что лишь три вуза из семи сумели преодолеть установленный порог. Абсолютным лидером здесь является **Поволжский государственный технологический университет** со значением показателя 156,34, что позволяет ему уверенно смотреть в будущее в ближайшие годы. Дело в том, что в соответствии с [1] в 2015 г. пороговое значение показателя будет составлять уже 133 %, а к 2018 г. размер средней заработной платы преподавателей вузов планируется довести до уровня 200 % от средней по региону. Наименьшие значения показателя зарегистрированы в МГУЛ и Санкт-Петербургском государственном лесотехническом университете, расположенных в столичных регионах с высоким уровнем средних зарплат. Лесным вузам, в которых данный

показатель не выполнен, а также выполнившим его Брянской государственной инженерно-технической академии и Воронежскому государственному лесотехническому университету, где превышение значения показателя составило лишь 3 %, следует принимать немедленные меры к повышению зарплат преподавательского звена.

Трудоустройство выпускников. Еще одним новшеством мониторинга вузов в 2014 г. явилось изменение алгоритма исчисления показателя уровня трудоустройства выпускников. В 2011–2013 гг. данный показатель определялся по наличию/отсутствию обращений выпускников вузов в службы занятости, что не давало объективной картины. В 2014 г. расчет значения показателя впервые был произведен путем сравнения данных Федерального реестра документов об образовании (ФРДО), в базу данных которого ежегодно вносятся данные по каждому выпускнику вузов, с данными Пенсионного фонда РФ, регистрирующего наличие пенсионных отчислений трудоустроенными выпускниками вузов и отсутствие таковых у нетрудоустроенных лиц. Результаты свидетельствуют о наличии определенных проблем с трудоустройством у выпускников вузов лесного профиля, что обусловлено, в первую очередь, неустойчивым положением лесной отрасли экономики страны. Стабильно данный показатель выполняют лишь два вуза – **Поволжский государственный технологический университет и МГУЛ**, который, впрочем, в 2014 г. не представил в установленный срок данные в ФРДО, и данный показатель мониторинга, в прошлые годы университетом стабильно выполнявшийся, засчитан ему не был.

Дополнительный показатель, характеризующий долю преподавателей, имеющих ученые степени кандидата и доктора наук, в общей численности ППС вуза, стабильно выполняется всеми вузами лесотехнического профиля. По нашему мнению, данный показатель был введен Министерством в 2013 г. как средство контроля небольших коммерческих «вузов-новоделов», обильно появляющихся в последние годы в обеих столицах и других городах. Не имея научной базы академической

школы, данные вузы привлекают к учебной работе не самый квалифицированный педагогический состав, что отражается на качестве получаемого их студентами образования и, как следствие, на значении данного показателя.

В итоге следует отметить, что опубликованные в 2015 г. результаты мониторинга деятельности основных вузов лесотехнического профиля (по данным 2014 г.) скорее подтверждают, чем опровергают выводы, сделанные по итогам предшествующих мониторингов [5–10]. Наиболее проблемная составляющая деятельности для всех рассмотренных вузов – образовательная, а именно средний балл ЕГЭ поступающих на I курс абитуриентов. Показатели прочих видов деятельности варьируются в разных вузах в широких пределах. В данной группе университетов можно констатировать лидирующее положение двух вузов: Поволжского государственного технологического университета и Московского государственного университета леса. При этом руководству МГУЛ надлежит в первую очередь сосредоточить усилия на улучшении двух показателей эффективности, а именно: характеризующих образовательную деятельность (средний балл ЕГЭ абитуриентов) и на уровне зарплаты профессорско-преподавательского состава. Отрадно, что ректорат университета сегодня принимает радикальные меры по решению обеих задач.

Библиографический список

1. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2012 г. № 599 «О мерах по реализации государственной политики в области образования и науки».
2. Протокол заседания Межведомственной комиссии по проведению мониторинга деятельности государственных образовательных учреждений в целях оценки эффективности их работы высшего образования от 29 апреля 2013 г. № ДЛ-12/05пр. http://минобрнауки.рф/новости/3354/файл/2223/13.05.14-Протокол_ДЛ-12_05.pdf
3. Презентация директора Национального центра общественно-профессиональной аккредитации, д.т.н., проф. Наводнова В.Г. «Новое в оценке образовательных организаций высшего образования», Москва, Семинар «Экспертиза качества профессионального образования», 19–23 мая 2014.
4. Протокол заседания Межведомственной комиссии по проведению мониторинга эффективности образовательных организаций высшего образования от 13 декабря 2013 г. № ДЛ-33/05пр. [http://минобрнауки.рф/новости/3873/файл/2673/ДЛ-33_05пр_%20от2013.12.2013_%20\(2\).pdf](http://минобрнауки.рф/новости/3873/файл/2673/ДЛ-33_05пр_%20от2013.12.2013_%20(2).pdf)

5. Протокол заседания Межведомственной комиссии по проведению мониторинга эффективности образовательных организаций высшего образования от 3 июня 2014 г. № ДЛ-25/05пр. [http://минобрнауки.рф/новости/4233/файл/3186/Протокол %20заседания %20МВК %203 %20июня %202014 %20ДЛ-25:05пр.pdf](http://минобрнауки.рф/новости/4233/файл/3186/Протокол%20заседания%20МВК%203%20июня%202014%20ДЛ-25:05пр.pdf)
6. Материалы сайта Минобрнауки: <http://минобрнауки.рф/>
7. Мониторинг деятельности федеральных образовательных учреждений высшего профессионального образования. Российская Федерация. Министерство образования и науки Российской Федерации. Москва, 2012. http://минобрнауки.рф/пресс-центр/2774/файл/1265/12.10.31-Мониторинг_Результаты.pdf
8. Информационно-аналитические материалы по результатам анализа показателей эффективности образовательных организаций высшего образования. URL: <http://indicators.miccedu.ru/monitoring>
9. Шалаев, В.С. Об эффективности мониторинга деятельности вузов лесотехнического профиля. / В.С. Шалаев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2015. – № 1. – С. 223–228.
10. Винокуров, М.А. Мониторинг эффективности российских вузов: совершенствование методологии. Известия ИГЭА, 2016, № 6 (92). – С. 5–11

FOREST TECHNICAL UNIVERSITIES EFFECTIVENESS MONITORING

Nikitin V.V., Prof. MSFU ⁽¹⁾; Shalaev V.S., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.) ⁽¹⁾; **Panferov V.I.**, Senior lecturer MSFU, Ph.D. (Tech.) ⁽¹⁾

nick@mgul.ac.ru, shalaev@mgul.ac.ru, panferov@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ Moscow State Forest University, MSFU, 1, 1st Institutskaya st., Mytishchi-5, Moscow reg., 141005, Russia

The results of monitoring of seven forest technical universities activities are presented in this article. Bryansk State engineering-technical academy, Voronej State Forest Technical University named after G.F.Morozov, Moscow State Forest University, Volga State Polytechnic University, Saint Petersburg State Forest Technical University named after S.M.Kirov, Siberian State Technological University and Urals State Forest Technical University belong to the focus group. The leading place of two universities within the group is emphasized: Volga State Technological University and Moscow State Forest University. Authors take into consideration the general monitoring data from the one hand and analyze each efficiency index (such as educational, financial, scientific, international activity and others) from the other hand. The year 2014 monitoring results neither confirm nor disprove the conclusions made earlier. The most problematic item for forest universities is the educational component, which sense is the Universities freshmen USE (Uniform State Exam) average ratio performed. Two Universities are the true leaders in the group. These are Volga State Polytechnic University and Moscow State Forest University, which management has to pay attention to educational index together with the average teachers' salary level.

Keywords: monitoring, forest technical universities.

References

1. Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 7 maya 2012 g. № 599 «O merakh po realizatsii gosudarstvennoy politiki v oblasti obrazovaniya i nauki» [Presidential Decree of May 7, 2012 № 599 “On measures to implement the state policy in the sphere of education and science.”]
2. Protokol zasedaniya Mezhdомstvennoy komissii po provedeniyu monitoringa deyatel'nosti gosudarstvennykh obrazovatel'nykh uchrezhdeniy v tselyakh otsenki effektivnosti ikh raboty vysshego obrazovaniya ot 29 aprelya 2013 g. № DL-12/05pr. [Minutes of the meeting of the Interdepartmental Commission for the monitoring of the state educational institutions in order to assess the effectiveness of their work of higher education from 29 April 2013 number DL-12 / 05pr.]. http://минобрнауки.рф/новости/3354/файл/2223/13.05.14-Протокол_ДЛ-12_05.pdf.
3. Prezentatsiya direktora Natsional'nogo tsentra obshchestvenno-professional'noy akkreditatsii, d.t.n., prof. Navodnova V.G. «Novoe v otsenke obrazovatel'nykh organizatsiy vysshego obrazovaniya» [Presentation of the Director of the National Center of professional accreditation, prof. Navodnova VG “New in the evaluation of educational institutions of higher education”], Moscow Seminar “Examination of the quality of vocational training”, 19-23 May 2014.
4. Protokol zasedaniya Mezhdомstvennoy komissii po provedeniyu monitoringa effektivnosti obrazovatel'nykh organizatsiy vysshego obrazovaniya ot 13 dekabrya 2013 g. № DL-33/05pr. [Minutes of the meeting of the Interdepartmental Commission on the monitoring of the effectiveness of educational institutions of higher education by December 13, 2013 number DL-33 / 05pr.]. [http://minobrnauki.rf/novosti/3873/fayl/2673/DL-33_05pr%20ot2013.12.2013 20% \(2\) .pdf](http://minobrnauki.rf/novosti/3873/fayl/2673/DL-33_05pr%20ot2013.12.2013%20(2).pdf).
5. Protokol zasedaniya Mezhdомstvennoy komissii po provedeniyu monitoringa effektivnosti obrazovatel'nykh organizatsiy vysshego obrazovaniya ot 3 iyunya 2014 g. № DL-25/05pr. [Minutes of the meeting of the Interdepartmental Commission on the monitoring of the effectiveness of educational institutions of higher education on June 3, 2014 number DL-25 / 05pr.]. [http://minobrnauki.rf/novosti/4233/fayl/3186/Protokol 20zasedaniya%203 20MVK 20iyunya%202014% 20DL-25: 05pr.pdf](http://minobrnauki.rf/novosti/4233/fayl/3186/Protokol%20zasedaniya%203%20MVK%20iyunya%202014%20DL-25:05pr.pdf).
6. Materialy sayta Minobrnauki: Materials of Ministry of Education website: <http://minobrnauki.rf/>
7. Monitoring deyatel'nosti federal'nykh obrazovatel'nykh uchrezhdeniy vysshego professional'nogo obrazovaniya. Rossiyskaya Federatsiya. Ministerstvo obrazovaniya i nauki Rossiyskoy Federatsii. Moskva, 2012. [Monitoring of activities of the federal educational institutions of higher professional education. Russian Federation. The Ministry of Education and Science of the Russian Federation. Moscow, 2012]. http://минобрнауки.рф/пресс-центр/2774/файл/1265/12.10.31-Мониторинг_Результаты.pdf.
8. Informatsionno-analiticheskie materialy po rezul'tatam analiza pokazateley effektivnosti obrazovatel'nykh organizatsiy vysshego obrazovaniya. [Information-analytical materials on the results of the analysis of performance indicators of educational institutions of higher obrazovaniya]. URL: <http://indicators.miccedu.ru/monitoring>.
9. Shalaev V.S. Ob effektivnosti monitoringa deyatel'nosti vuzov lesotekhnicheskogo profilya [The effectiveness of monitoring of higher education institutions Forestry profile]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik. 2015. № 1. pp. 223–228.
10. Vinokurov M.A. [Monitoring the effectiveness of the Russian high schools: improvement methodology]. News ISEA 2016, number 6 (92). pp. 5-11.

МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА УНИВЕРСИТЕТА В СРЕДЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТ

Д.А. СТАИН, аспирант УГЛТУ⁽¹⁾,
В.П. ЧАСОВСКИХ, проф. УГЛТУ д-р техн. наук⁽¹⁾

stain.dm@gmail.com, u2007u@yandex.ru

⁽¹⁾ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»,
620100, Свердловская область, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, д. 37

Статья посвящена вопросу формирования структурных моделей образовательного процесса высшего учебного заведения в условиях реформирования высшего образования Российской Федерации. Факторы внешней среды, оказывающие влияние на вуз как систему, постоянно меняются, вынуждая вуз в условиях дефицита ресурсов формировать реакции, позволяющие ему вести успешную конкурентную борьбу. В противном случае вуз рискует получить отрицательные эффекты вплоть до прекращения деятельности. Проанализирован образовательный процесс современного вуза. Проанализированы существующие традиционные модели образовательного процесса высшего образования Российской Федерации. Отмечены основные особенности. Так, информационно-образовательная среда является построенным элементом образовательного процесса. Исходя из полученной информации были проведены исследования и предложены модели и методы, повышающие эффективность образовательного процесса вуза.

Ключевые слова: автоматизированная система управления (АСУ), база данных (БД), система управления базой данных (СУБД), модель образовательного процесса, образовательный процесс, модель, студент, преподаватель, ФГОС, web-сайт, электронная информационно-образовательная среда университета, университет.

После достаточно долгого переходного периода с принятием нового ФЗ «Об образовании в РФ» [1] и новых ФГОС система высшего образования России перешла на модель «бакалавр – специалист высшей квалификации» для подготовки специалистов с высшим образованием для всех сегментов экономики страны. Система подготовки инженеров по специальностям трансформировалась в обучение по направлению бакалавриата с последующей узкой направленностью до уровня программ магистров и специалистов высшей квалификации. Тем самым, существенно изменяется образовательный процесс и технологии, его обеспечивающие. Само понятие обучения, определяемое как «основной путь получения образования, целенаправленно организованный, планомерно и систематически осуществляемый *процесс* овладения знаниями, умениями и навыками под руководством педагогов, наставников и т. д., тесно связано с воспитанием и ведется в учебных заведениях и в ходе производственной деятельности ...» [2], указывает, что принципиально меняется образовательный процесс. Хотелось бы обратить внимание на изменение роли педагога: он перестал быть носителем информации, его главная роль – организация получения образования, сле-

довательно, изменилась и его роль в образовательном процессе.

Проблематика организации и управления образовательным процессом вуза занимает важное место в научной и практической деятельности ведущих университетов и Академии наук Российской Федерации. Нами были исследованы вопросы управления и организации образовательного процесса в вузе, проанализированы существующие наработки, исследования, отмечены их недостатки. Предложены новые концепции, которые, с нашей точки зрения, в большей мере учитывают современные реалии научно-образовательной среды, определенные не только социальными, экономическими, юридическими и общественными функциями влияния, но и требованиями, сформировавшиеся естественным образом как следствие развития науки и техники. Имеет место общий вывод: несмотря на то, что научные статьи о технологиях образовательного процесса публикуются не одно столетие, термин «образовательные» и «педагогические» технологии не имеет общепризнанного определения.

Не вызывает сомнений, что субъектами образовательного процесса вуза являются преподаватели и студенты. Они взаимодействуют и с течением времени студент изменя-

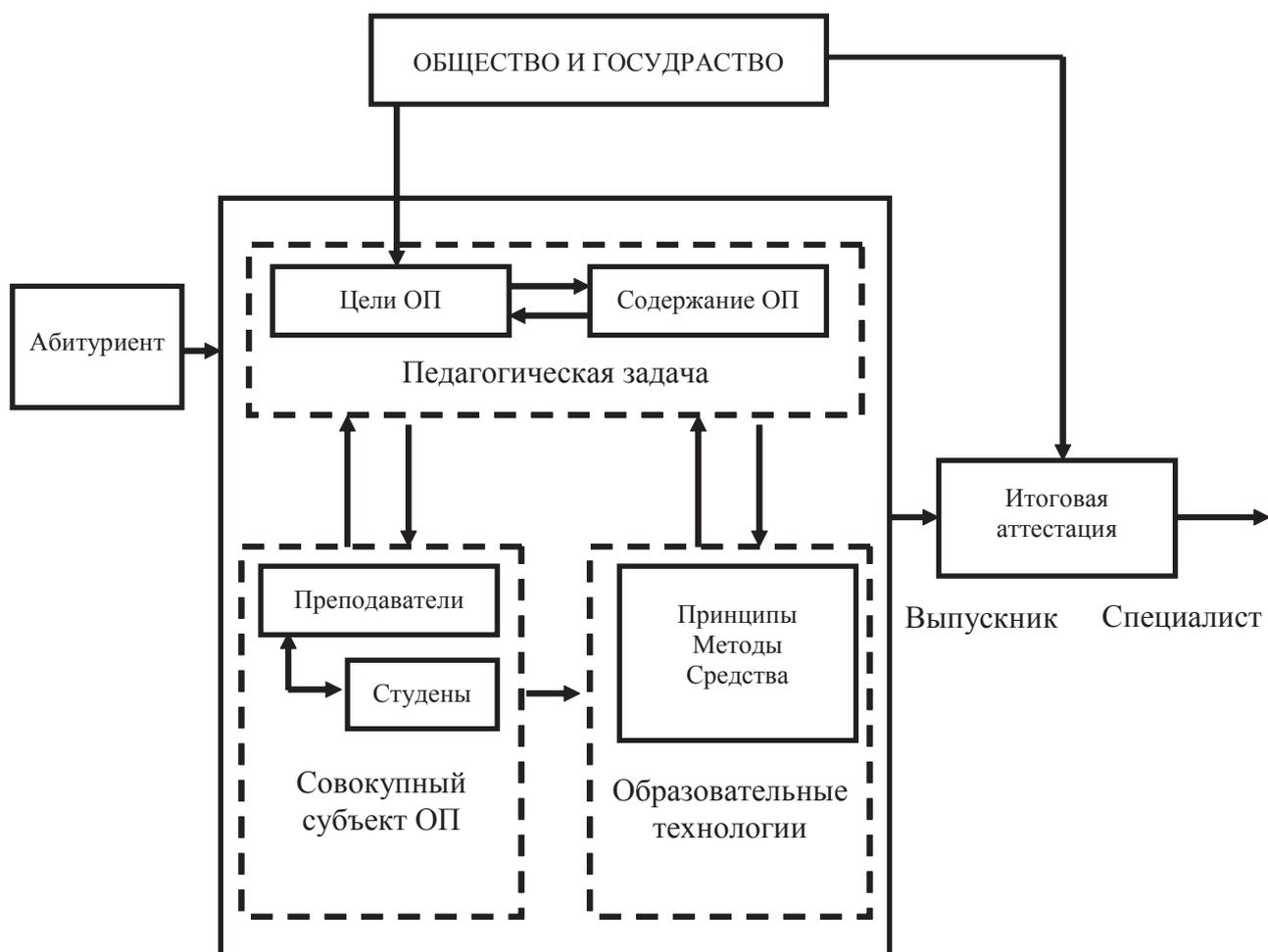


Рис. 1. Структурно-функциональная модель образовательного процесса Ю.Г.Татур
 Fig. 1. Structural and functional model of the educational process Yu.G. Tatura

ет свое состояние, приобретая компетенции. Приобретение студентом компетенций является одной из основных целей образовательного процесса. С другой стороны, нельзя констатировать факт, что преподаватель в процессе этого взаимодействия не подвержен изменениям. Очевидно, что преподаватель, как минимум, приобретает опыт. Исследователь И.А. Зимняя в этом вопросе заходит еще дальше и утверждает, что «развитие ученика предполагает постоянное развитие педагога, которое есть условие развития ученика» [3]. И студент и преподаватель имеют свои цели, и эти цели должны быть согласованы. Но любое взаимодействие преподавателя и студента нельзя считать образовательным процессом в вузе. Федеральным законом Российской Федерации от 29 октября 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» [1], а также другими подзаконными актами, госу-

дарственными службами, социально-общественными институтами, бизнес-сообществом и другими составляющими определены требования к такому взаимодействию, которое может считаться образовательным процессом.

При рассмотрении вопросов организации и управления образовательным процессом в качестве общеконцептуальной составляющей предлагается использовать структурно-функциональную модель образовательного процесса.

Ю.Г. Татуром в [4] предложена следующая модель (рис. 1)

Данная модель представляет ценную составляющую научного знания, но в ходе исследования был отмечен ряд важных особенностей, не отраженных в данной модели.

- Не являются очевидными линии границ вуза и внешней среды, и, как следствие,

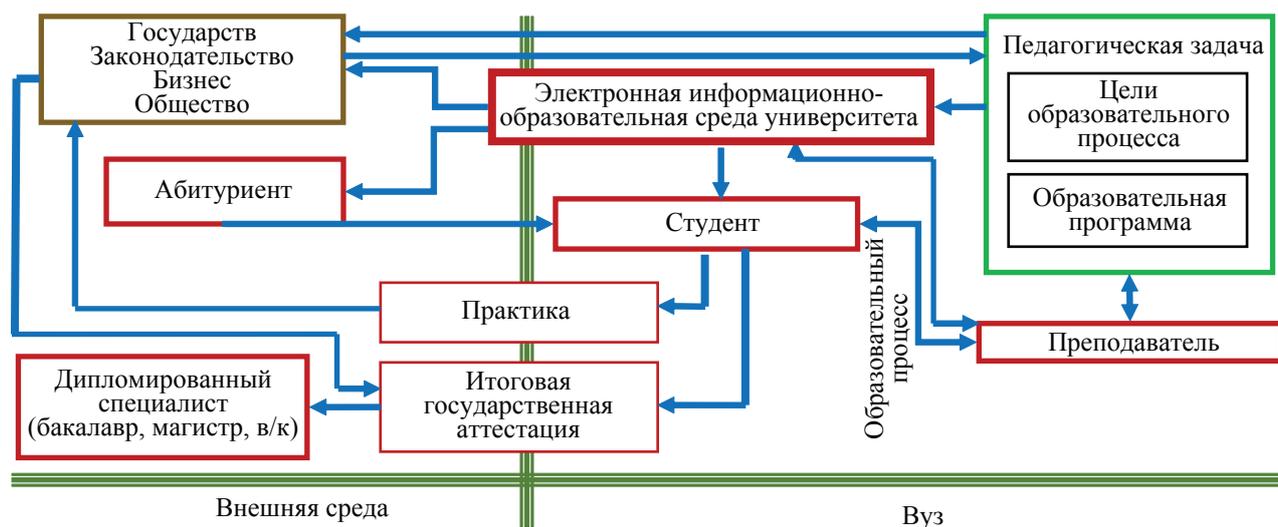


Рис. 2. Расширенная структурно-функциональная модель традиционного образовательного процесса вуза

Fig. 2. Extended structural-functional model of the traditional educational process of high school

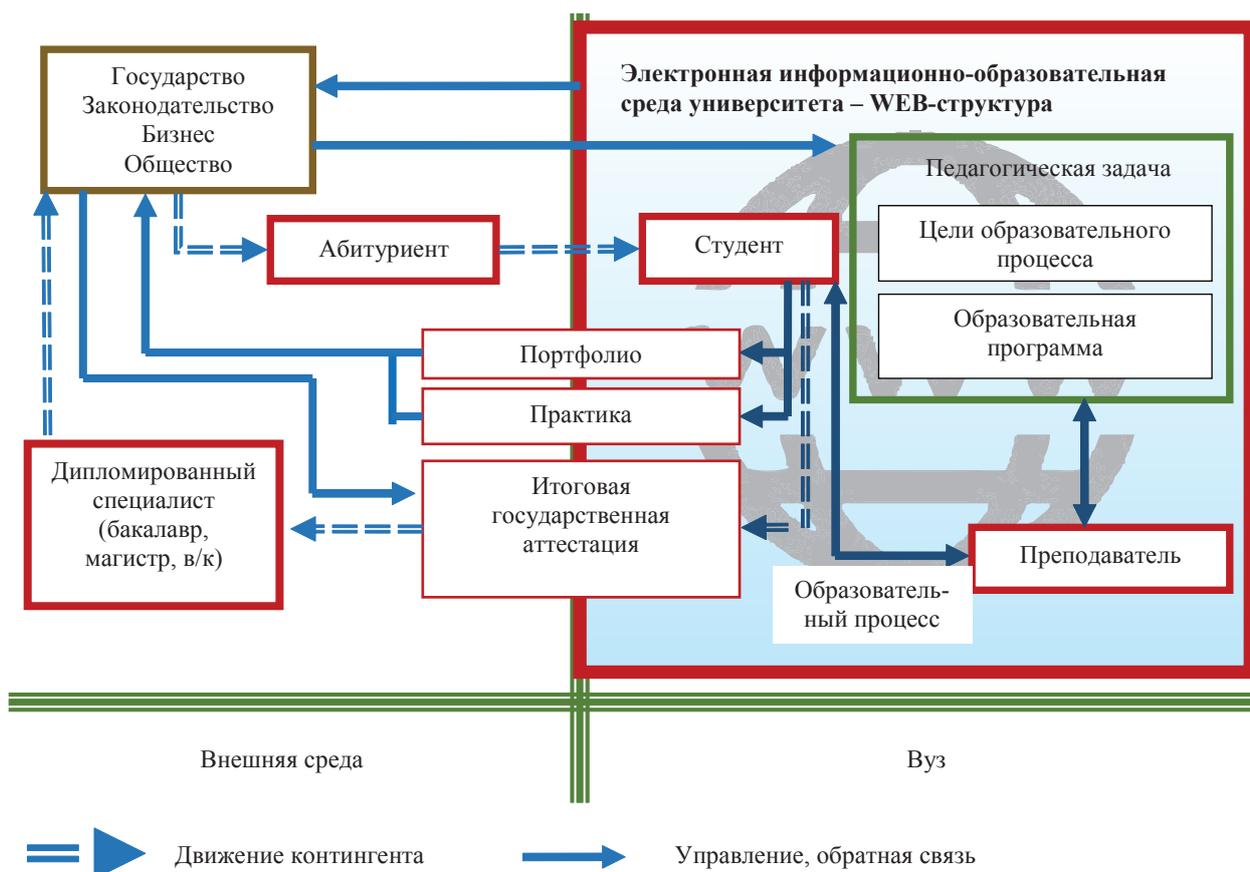


Рис. 3. Структурно-функциональная модель образовательного процесса с полным погружением в электронно-образовательную среду университета

Fig. 3. Structural and functional model of the educational process with a full immersion in the electronic-educational university environment

сложно выделить субъекты и объекты управления.

- Из схемы следует, что государство определяет лишь цели образовательного процесса и на выходе осуществляет контроль итоговой государственной аттестации (ИГА), что не соответствует действительности. Государство в значительной степени нормирует и структурирует образовательный процесс посредством ФГОСов [5] и других рычагов, имеет ряд каналов обратной связи, в частности, посредством сайта вуза [6].

- Отсутствует требуемая современным законодательством электронная информационно-образовательная среда, требования к наличию которой обусловлены п. 7.1. ФГОС [5,7]. Формально ее можно отнести к «Образовательным технологиям» (методы, принципы, средства), но современный образовательный процесс подразумевает наличие такой среды как центрального элемента, осуществляющего взаимодействие, коммуникации объектов образовательного процесса, накопления информации об образовательном процессе, что позволяет его выделить в отдельную структуру на модели образовательного процесса.

- Отсутствует такая важная традиционная составляющая образовательного процесса, определяющая одну из методологий взаимодействия с внешней средой, как практика.

Проанализировав опыт вузов и факторы внешней среды учебных заведений, стенируем структурно-функциональную модель традиционного образовательного процесса вуза.

Такая модель де-факто является основной для функционирования вузов Российской Федерации, но, с нашей точки зрения, она не отвечает современному этапу развития экономики, науки и техники [8]. Современные экономические системы всесторонне погружены в информационно-коммуникационные технологии (ИКТ). В качестве яркого примера возьмем банковский сектор. Такая важнейшая составляющая мировой экономической системы на сегодняшний день полностью погружена в среду информационно-коммуникационных технологий. Все транзакционные и иные операции осуществляются посредством переда-

чи информации по вычислительным сетям и фиксации результатов систем в базах данных [9–11]. В банковской системе информационно-коммуникационные технологии встроены в среду, т. е. если из современной банковской системы извлечь ИКТ-составляющую, то ее функционирование станет невозможным. Такой подход обеспечил высокую эффективность, исключил огромное количество ошибок и временных лагов, допускаемых банковскими клерками разного уровня в доинформатизационные годы. Многие экономические, социально-технические системы и системы материального производства обладают встроенными ИКТ-средствами.

Как видно из рис. 2, сейчас в вузах ИКТ-система является не встроенной, а пристроенной. В результате наших исследований сделан вывод, что единственный способ повысить эффективность вуза в современных условиях – сформировать встроенную электронную информационно-образовательную среду университета на основе современных WEB-технологий. Таким образом, все процессы и взаимосвязи оказываются погруженными в среду и отображаются в базах данных.

Преимущества такого подхода:

- выполнение требований законодательства по части прозрачности деятельности вуза, фиксации образовательного процесса и других, прямо или косвенно касающихся обмена информации с гос. структурами посредством web-сайта становится естественным следствием функционирования вуза;

- наличие четкого отображения реальных процессов вуза в базах данных позволяет эффективнее управлять вузом.

Как следствие – повышение качества и эффективности вузовского образования.

Библиографический список

1. Федеральный закон Российской Федерации от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» //Российская газета. Федеральный выпуск. 2012. № 5976.
2. Советский энциклопедический словарь / Гл. редакция А.М. Прохоров. – М.: Сов. Энциклопедия, 1987. – 1600 с.
3. Зимняя, И.А. Педагогическая психология: учеб. пособие / И.А. Зимняя. – М.: Логос, 1999.

4. Татур, Ю.Г. Высшее образование: методология и опыт проектирования / Ю.Г. Татур. – М.: Логос, Университетская книга, 2006. – 153 с.
5. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования. Уровень высшего образования магистратура. Направление подготовки менеджмент. Утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 марта 2015 г. № 322.
6. Часовских, В.П. Структура, содержание и среда разработки веб-сайта вуза / В.П. Часовских, Д.А. Стаин // Эко-потенциал. – 2013. – № 3-4. – С. 160–173.
7. Часовских, В.П. Сайт выпускающей кафедры университета – современный подход / В.П. Часовских, А.В. Мехренцев, Е.В. Кох, Д.А. Стаин // Эко-Потенциал. – 2015. – № 3. – С. 50–55.
8. Часовских, В.П. Модель образовательного процесса и сайт вуза 2.0 / В.П. Часовских, Д.А. Стаин // Эко-Потенциал. – 2013. – № 2(6). – С. 113–118.
9. Чернорцукий, И.Г. Методы принятия решений / И.Г. Чернорцукий. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
10. Люгер, Джордж Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем, 4-е издание. : Пер. с англ. / Люгер, Джордж Ф. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 864 с.
11. Ногин, В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде / В.Д. Ногин. – М.: Физматлит, 2002.

MODEL OF THE EDUCATIONAL PROCESS IN THE UNIVERSITY BY THE INTERNET TECHNOLOGY ENVIRONMENT

Stain D.A., pg. Ural State Forest Engineering University⁽¹⁾; **Chasovskikh V.P.**, Prof. Ural State Forest Engineering University, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾

stain.dm@gmail.com, u2007u@yandex.ru

⁽¹⁾The Ural State Forest Engineering University, Sibirsky tract, 37, Ekaterinburg, Russia, 620100

The article is devoted to the formation of structural models of the educational process of higher educational institutions in the conditions of reforming of higher education of the Russian Federation. Environmental factors affecting the institution as a system that is constantly changing. Thus, forcing the university to the shortage of resources to shape reactions, allowing him to make a successful competition. Otherwise, the institution runs the risk of negative effects until the end of the activity. We analyzed the educational process of the modern university. Analyzed existing traditional model of the educational process of higher education of the Russian Federation. Noting their basic features. For information and educational environment is an attached element in the educational process. Based on the information received were studied and proposed models and methods that improve the educational process of the university.

Keywords: automated control system (ACS), database (DB), database management system (DBMS), model of the educational process, the educational process, a model student, teacher, GEF, web-sites, electronic information-educational environment of the university, university.

References

1. *Federal'nyy zakon Rossiyskoy Federatsii ot 29 dekabrya 2012 g. № 273-FZ «Ob obrazovanii v Rossiyskoy Federatsii»* [Federal Law of the Russian Federation of December 29, 2012. № 273-FZ “On Education in the Russian Federation”]. Russian newspaper. Federal issue. 2012. № 5976.
2. *Sovetskiy entsiklopedicheskiy slovar* [The Soviet encyclopaedic dictionary]. Moscow: Sov. Encyclopedia, 1987. 1600 p.
3. Zimnyaya I.A. *Pedagogicheskaya psikhologiya* [Educational Psychology]. Moscow: Logos, 1999.
4. Tatur Yu.G. *Vysshee obrazovanie: metodologiya i opyt proektirovaniya* [Higher education: methodology and design experience]. Moscow: Logos, University Book, 2006. 153 p.
5. *Federal'nyy gosudarstvennyy obrazovatel'nyy standart vysshego obrazovaniya. Uroven' vysshego obrazovaniya magistratura. Napravlenie podgotovki menedzhment. Utverzhden prikazom Ministerstva obrazovaniya i nauki Rossiyskoy Federatsii ot 30 marta 2015 g. № 322.* [Federal State Educational Standard of Higher Education. The level of higher education master's degree. Management Direction of preparation. Approved by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation dated March 30, 2015 № 322.]
6. Chasovskikh V.P., Stain D.A. *Struktura, sodержanie i sreda razrabotki veb-sayta vuza* [The structure, content and the development environment of the university web-site]. Eco-potential. 2013. № 3-4. pp 160-173.
7. Chasovskikh V.P., Mekhrentsev A.V., Kokh E.V., Stain D.A. *Sayt vypuskayushchey kafedry universiteta – sovremennyy podkhod* [Website graduating university department - a modern approach]. Eco-Potential. 2015. № 3. pp 50-55.
8. Chasovskikh, V.P., Stain D.A. *Model' obrazovatel'nogo protsessa i sayt vuza 2.0* [Model of the educational process and the site of the university 2.0]. Eco-Potential. 2013. № 2 (6). pp. 113-118.
9. Chernortsukiy I.G. *Metody prinyatiya resheniy* [Methods of decision-making]. SPb.: BHV-Petersburg, 2005. 416 p.
10. Lyuger, Dzhordzh F. *Iskusstvennyy intellekt: strategii i metody resheniya slozhnykh problem* [Artificial Intelligence: Strategies and methods for solving complex problems, 4th edition. Hardcover. from English]. Moscow: Publishing House “Williams”, 2003. 864 p.
11. Nugin V.D. *Prinyatie resheniy v mnogokriterial'noy srede* [Decision-making in multicriteria environment]. Moscow: FIZMATLIT 2002.

ПРОНИКНОВЕНИЕ ИДЕОЛОГИИ ЭКСТРЕМИЗМА И ТЕРРОРИЗМА В МОЛОДЕЖНУЮ СРЕДУ И МЕРЫ АДЕКВАТНОГО ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ

Л.М. ЛУЦЕНКО, *советник ректора МГУЛ, канд. юр. наук*⁽¹⁾,

Ю.В. ЛУЦЕНКО, *доц., Институт коммерции, права и современных технологий, канд. психолог. наук*⁽²⁾

leon7982@mail.ru

⁽¹⁾Московский государственный университет леса
141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

⁽²⁾Института коммерции, права и современных технологий,
127224, г. Москва, Северодвинская ул., д. 9

В стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 г. указывается, что среди основных источников угроз национальной безопасности выступает экстремистская деятельность националистических, религиозных, этнических и иных организаций и структур. Серьезную социальную опасность представляет эскалация идеологии экстремизма и терроризма среди молодежи и ее значительное усиление в студенческой среде. В статье классифицированы характерные социально-психологические проявления студентов, которые могут быть наиболее подвержены психологическому воздействию и вовлечению в противоправную (в том числе и террористическую) деятельность. Предложены пути профилактики экстремизма и формирования межнационального согласия в студенческой среде, т. к. в условиях поликультурного образовательного пространства деятельность общеобразовательных учреждений по предупреждению экстремизма становится всё более актуальной. В современном мире повышение значимости информации, информационных технологий в жизни общества изменяет отношение к ней, выдвигает проблему безопасности информации. Этого требует и тот факт, что свои страницы в сети интернет имеют множество террористических организаций, которые через нее активно пропагандируют свои идеи. Учитывая, что российское общество в последние десятилетия особо остро переживает трансформацию системы ценностей, обусловленную модернизацией общественной жизни, попытки использования экстремистской идеологической основы для вовлечения молодежи в преступную деятельность вызывают крайнюю обеспокоенность. Ведь общество и государство рассматривают молодежь как стратегический ресурс, т. к. молодежь – это поколение людей, проходящих стадию становления личности, усвоения знаний, социальных ценностей и норм, необходимых для того, чтобы не только реализовать свой личностный потенциал, состояться как полноценный и полноправный член общества, но и способствовать развитию самого общества. Исходя из этого предложены мероприятия, направленные на создание технологий изучения современного экстремизма, системы мониторинга динамики его изменений, разработку адекватных современности форм и методов профилактической работы.

Ключевые слова: экстремизм, терроризм, молодежь, образовательное пространство, психологическое воздействие, коммуникация, предупреждение и профилактика экстремизма и терроризма, информация, информационные технологии.

Информация, знания всегда являлись определяющей движущей силой общества. Особо остро, эффективно воздействует информация на процессы становления человека, науки, экономики, общества в целом и, особенно, на молодых людей. Актуальность темы в настоящее время обусловлена, по нашему мнению, расширением эскалации идеологии экстремизма и терроризма, особенно среди молодежи, как средства решения, в первую очередь, политических проблем с одновременной технологизацией этой деятельности на фоне ускоренной информатизации и усиление ее технологической зависимости.

В стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 г. ука-

зывается, что среди основных источников угроз национальной безопасности в сфере государственной и общественной безопасности выступает экстремистская деятельность националистических, религиозных, этнических и иных организаций и структур, направленная на нарушение единства и территориальной целостности Российской Федерации, дестабилизацию внутривнутриполитической и социальной ситуации в стране [1].

Современное российское общество в эпоху глобализации и высоких информационных технологий в последние десятилетия особо остро переживает трансформацию системы ценностей, обусловленную модернизацией общественной жизни [2].

Серьезную социальную опасность представляет то, что негативные последствия таких изменений особо сказываются на молодежи как наиболее уязвимой категории граждан. Попытки использования экстремистской идеологической основы для вовлечения молодежи в преступную деятельность вызывают крайнюю обеспокоенность.

С точки зрения психологии, молодость – это период обретения своего «Я», утверждения человека как индивидуальной, неповторимой личности, процесс поиска своего особого пути достижения успеха и счастья. Молодое поколение изначально по своей природе, возрасту и положению в обществе обладает теми особенностями и чертами мышления и поведения, которое в определенных социально-психологических условиях и целенаправленного воздействия формируют личности экстремистской направленности.

Как показывает практика, наиболее подвержены вовлечению в террористическую деятельность и психологическому воздействию лица, склонные переоценивать собственную значимость, имеющие ненасытную потребность в успехе и признании. Для таких людей, как правило, характерна завышенная самооценка и уровень притязаний, тщеславие и самовлюбленность.

В последнее время в силу разных причин экстремистские проявления значительно усилились и в студенческой среде. Многие из них стали происходить на межнациональной почве. Поэтому в условиях поликультурного образовательного пространства деятельность общеобразовательных учреждений по формированию культуры гражданской солидарности, предупреждению и профилактике экстремизма в молодежной среде становится все более актуальной.

В первую очередь, в социальном плане целесообразно обращать внимание на студентов, которые могут быть наиболее подвержены психологическому воздействию и вовлечению в противоправную (в том числе и террористическую) деятельность и для которых характерны следующие проявления:

1. Отчужденность в отношениях с другими людьми: отсутствие близких друзей,

изолированность, одиночество, неуживчивый характер, высокомерие, враждебная настроенность, замкнутость, агрессивность, злопамятность, чрезмерная экзальтированность; наличие врагов (истинных или мнимых); лицо является объектом насмешек и презрения; трудности во взаимоотношениях с коллегами или психологическая изоляция от них.

2. Отклонения от норм общепринятого поведения: избегание контакта с семьей; пьянство; супружеская неверность; праздное времяпровождение в увеселительных заведениях; тяга к легким развлечениям; отсутствие занятий спортом.

3. Личные данные студентов: степень агрессивности или смиренности; примеры возбужденного состояния; беспокойство и методы самоуспокоения; чрезмерная застенчивость, угодничество; эгоизм, переоценка своих идей, взглядов; повышенная экспансивность, легкая возбудимость; сверхчувствительность, обидчивость, не восприятие критики; стремление обвинить других, уклониться от личной ответственности; высокомерие, переоценка своего служебного положения, стремление показать другим свою одаренность и значимость; колебания в настроении, депрессия; недооценка или переоценка возможностей; постоянная критика других, поиск их недостатков, сарказм, антиобщественный юмор; гипертрофированная опрятность и организованность или наоборот.

Особое внимание рекомендуется обращать на студентов, сочетающих в себе высокую самооценку и низкие моральные качества: индивидуализм и эгоцентризм, способность легко пренебречь интересами других людей (в их поведении важную роль играют механизмы психологической защиты – вытеснение и рационализация); социально-психологическая дезадаптация, т. е. неуживчивость, отсутствие близких друзей, конфликты с коллегами и родными и т. д.; эмоционально-волевая неустойчивость и нарушения психики без крайних проявлений (психических болезней) [3, 4].

Для успешной социализации молодежи в современных социально-экономических

и общественно-политических условиях необходимо совершенствование образовательного процесса по воспитанию гражданского самосознания каждого молодого человека; активизация информационно-просветительской работы по формированию толерантного отношения к людям иной национальности и вероисповедания; широкое использование современных методов и психолого-педагогических технологий работы со студентами с девиантным поведением, представителями асоциальных молодежных движений и группировок; своевременное оказание психолого-педагогической помощи студентам, оказавшимся в трудной жизненной ситуации [5].

Поэтому необходима повседневная творческая работа всего педагогического коллектива по надлежащему воспитанию молодежи. В целях профилактики экстремизма и формирования межнационального согласия в студенческой среде целесообразно:

1. Повысить роль студенческих общественных объединений в жизни вуза, степень их влияния на процессы в студенческой среде.

2. Организовать в образовательных учреждениях факультативные курсы по изучению законодательства в сфере противодействия экстремизму, создать стенды антиэкстремистской направленности в корпусах учебных заведений и студенческих общежитиях, активнее привлекая органы правопорядка к этой работе.

3. Периодически осуществлять мониторинг учебных программ и пособий с целью выявления материалов, способствующих разжиганию межнациональных конфликтов.

4. Желательно установить одним из критериев качества воспитательной работы в вузах количественный показатель, отражающий зависимость ее состояния от числа студентов, привлеченных к уголовной и, в отдельных случаях, к административной ответственности. Возможно также, что этот критерий должен учитываться при экспертизе показателей деятельности вузов для их государственной аккредитации.

5. Разработать и реализовать с участием национальных диаспор комплекс ме-

роприятий по развитию межнационального диалога и интернационализма в студенческой среде, включая создание клубов интернациональной дружбы.

6. Ввести в учебные программы образовательных учреждений преподавание основ межнационального общения и интернационального воспитания учащихся.

7. В рамках воспитательной работы образовательных учреждений усилить внимание к мероприятиям по пропаганде культуры и традиций народов России и обучению навыкам бесконфликтного общения, а также просветить учащихся о социальной опасности преступлений на почве ненависти для российского общества. Развитие службы психологической помощи в решении проблем социализации, разработка системы психокоррекционной работы и умений социального взаимодействия.

8. Внедрять в вузах специальные комплексные программы по адаптации и интеграции студентов из субъектов Российской Федерации Северо-Кавказского федерального округа и оказывать содействие инициативам по их поддержке со стороны различных общественных организаций, в т. ч. национальных диаспор. Использовать при изучении предмета «Основы безопасности жизнедеятельности» информационно-аналитические материалы по противодействию экстремизму и терроризму.

9. Привлечь к работе в студенческих общежитиях специалистов по воспитательной работе с иногородними студентами.

10. Создать в вузах добровольные интернациональные студенческие дружины для поддержания общественного порядка и предупреждения конфликтов на почве этнической неприязни на территории учебных заведений, общежитий и студенческих городков.

Решая перечисленные вопросы, необходимо сознавать, что главные причины существования идеологии экстремизма и терроризма среди молодежи лежат, конечно, не только в психологической, но и в идеологической плоскости. В современных условиях экстремизм и терроризм превратились в постоянно действующий и активно

используемый фактор политической борьбы как на международной арене, так и внутри отдельных государств. При этом экстремизм самым активным образом использует в своих акциях информационное оружие. Информация, циркулирующая в обществе, имеет очень сложную структуру, сопоставимую со сложностью самого общества [6].

Как известно, коммуникация обеспечивает не только связь между структурами социальных систем, но и их воспроизводство, организацию, управление ими, трансляцию культуры и менталитета народа и т. д. По существу, коммуникация – связующая ткань общества [7]. Поэтому коммуникация была и остается одним из важнейших факторов формирования и развития социума. В современную «информационную» эпоху ее роль и значение для нормального функционирования общества неуклонно возрастает.

Повышение значимости информации, информационных технологий в жизни общества изменяет отношение к ней, требует гармонизации взаимосвязей между государством, наукой, порождающей новую информацию, и субъектами, использующими ее в интересах развития жизни, общества и национальной экономики, выдвигает проблему безопасности информации [8].

Этого требует и тот факт, что свои страницы в сети Интернет имеют сегодня и множество террористических организаций. Они активно занимаются в сети пропагандой своих идей и ведут обмен технологиями исполнения террористических актов, без каких бы то ни было ограничений [9]. Поэтому государство должно становиться активным участником правоотношений в информационной сфере.

К сожалению, массовая коммуникация в современной России по многим параметрам не обеспечивает выполнение объективно присущих ей функций. Исходя из этого, общая научная задача заключается в том, чтобы выявить причины создавшейся ситуации, определить пути их преодоления. Молодежь как особая возрастная категория и социальная группа должна быть объектом изучения целого комплекса социально-гуманитарных

наук – социологии, социальной философии, психологии и педагогики, культурологии, конфликтологии и других.

Успешная профилактика экстремизма в молодежной среде не представляется возможной без эффективно действующей системы научно-методического и аналитического сопровождения. Направление этой работы должно быть ориентировано на создание технологий изучения современного экстремизма, создание системы мониторинга динамики его изменений, разработку адекватных современности форм и методов профилактической работы.

В этих целях возможно осуществление следующих мероприятий:

- разработка исследовательского инструментария и проведения надлежащего мониторинга, направленного на изучение проблем и социального самочувствия молодежи, исследование девиаций в молодежной среде, анализ деятельности и развития молодежных субкультур;

- разработка и внедрение в практику системы государственных грантов, направленных на поддержку исследований и проектов, ориентированных на оптимизацию системы профилактики экстремистской активности в среде молодежи;

- организация и проведение научно-практических конференций, посвященных исследованию проблем молодежного экстремизма;

- формирование научного сообщества исследователей, занимающихся изучением проблем экстремального поведения, национализма, шовинизма, ксенофобии, развития этнического самосознания среди молодежи;

- разработка, издание и широкое распространение научных и научно-методических работ по проектированию и обеспечению функционирования системы профилактики экстремизма в молодежной среде;

- создание тематического интернет-ресурса, посвященного проблемам профилактики экстремистского поведения молодых людей;

- создание при кафедрах педагогики, социальной работы, социальной психологии

вузов, действующих в соответствующем регионе, лабораторий по исследованию региональных аспектов проявления молодежного экстремизма, радикального поведения, лабораторий изучения молодежных субкультур;

– создание на базе государственных образовательных учреждений молодежных центров – экспериментальных площадок по апробации инновационных форм профилактики молодежного экстремизма, развитию методов «мягкого» управления молодежными субкультурами;

– создание реестра молодежных субкультур, действующих на территории конкретного региона или муниципального образования, с описанием их численности, основных видов и форм деятельности.

Выполнение перечисленных мероприятий обусловлено и тем, что сегодня общество и государство рассматривают молодежь как стратегический ресурс, который гораздо важнее сырьевых, топливных и финансовых ресурсов. Ведь молодежь – это поколение людей, проходящих стадию взросления, т. е. становления личности, усвоения знаний, социальных ценностей и норм, необходимых для того, чтобы не только реализовать свой личностный потенциал, состояться как полноценный и полноправный член общества, но и способствовать развитию самого общества.

В этих целях государство стремится существенно улучшить положение в здравоохранении, образовании и культуре – в тех сферах, где решается вопрос духовного, нравственного и физического формирования молодого поколения. И в то же время в сложном положении пока находится молодая семья, которая все еще испытывает не только материальные, социально-бытовые, но и социокультурные, психофизиологические трудности. До настоящего времени в нашем обществе имеет место социальное сиротство.

В условиях динамичного развития структуры российского общества имеет место достаточно опасная тенденция нарастания в нем межэтнической, межконфессиональной, социально-экономической, межпоколенческой и политической нетерпимости. Этот процесс может сопровождаться

усилением проявлений в массовом сознании ксенофобии, этнофобии, антисемитизма и национализма, что нередко используется экстремистскими движениями в целях разжигания ненависти, национальной розни и провоцирующими разного рода социальные конфликты в обществе [10].

Следовательно, сегодня возрастает потребность усиления государственного влияния на процессы формирования молодого поколения. Особую актуальность приобретает молодежная политика, которая становится частью социально-демографической политики государства и является важнейшим направлением его идеологической деятельности. Все вышеназванное вызывает потребность иметь целостную программу работы с молодежью на государственном уровне.

Усиление работы по адекватному противодействию идеологии экстремизма и терроризма среди молодежи требует также и надлежащей организации взаимодействия всех участников этого процесса, и в первую очередь, государственных и общественных органов и учреждений, в том числе и всех вузовских структур. Все перечисленное позволит иметь положительные результаты по предотвращению распространения идеологии экстремизма и терроризма среди молодежи, а также организовать своевременное и адекватное противодействие этому опасному общественному явлению.

Библиографический список

1. Указ Президента РФ от 12 мая 2009 г. № 537 «О стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года» с изменениями от 1 июля 2014 г.
2. Чумаков, А.Н. Глобализация. Контуры целостного мира: монография 2-изд., перераб. и доп. / А.Н. Чумаков. – Проспект, 2015. – 432 с.
3. Столяренко, Л.Д. Психология и педагогика: учебник. – Изд. 3-е / Л.Д. Столяренко, С.И. Самыгин, В.Е. Столяренко. – Ростов н/д: Феникс, 2012. – 636 с.
4. Даттон К. Флиппоз. Искусство мгновенного убеждения / Даттон К. Флиппоз. – СПб.: Питер, 2015. – 336 с.
5. Бондырева, С.К. Молодежный экстремизм: предупреждение и профилактика. Учебно-методическое пособие. 2-е изд., испр. / С.К. Бондырева, Н.Н. Бушмарина, Н.Н. Клименко и др. – М.: Издательство Московского психолого-социального университета, 2015. – 246 с.
6. Белоножкин, В.И. Информационные аспекты противодействия терроризму / В.И. Белоножкин, Г.А. Остапенко. – М.: Горячая линия – Телеком, 2015. – 112 с.

7. Таворкин, Е.П. Массовые коммуникации: Сущность и состояние в современной России: Учебное пособие. Изд. 3-е, испр. и доп. / Е.П. Таворкин. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. – 200 с.
8. Миньковский, Г. Характеристика терроризма и некоторые направления повышения эффективности борьбы с ним / Г. Миньковский, В. Ревин // Государство и право. – 2011. – 143 с.
9. Брусницын, Н.А. Информационная война и безопасность / Н.А. Брусницын. – М.: Вита-Пресс, 2001. – 280 с.
10. ИГИЛ. Исламское государство и Россия. Столкновение неизбежно? – М.: Книжный мир, 2016. – 256 с.

PENETRATION OF TERRORISM AND EXTREMISM IN THE YOUTH ENVIRONMENT AND ADEQUATE MEASURES OF OPPOSITION

Lutsenko L.M., PhD (jurisprudence), the Advisor to the Rector MSFU⁽¹⁾; **Lutsenko Y.V.**, PhD (Psychology), Assoc. Prof. Institute of Commerce, Law and Modern Technology⁽²⁾

leon7982@mail.ru

⁽¹⁾Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytishi, Moscow reg., Russia

⁽²⁾Institute of Commerce, Law and Modern Technology, Severodvinskaya st., 9, 127224, Moscow, Russia

Increase of the importance of information, information technologies in life of society changes the attitude to it, poses the problem of safety of information in the modern world. It is demanded also by the fact that the pages in a network have the set of the terrorist organizations, which are actively engaged in promotion of the ideas through it. Taking into account the fact that Russian community especially sharply endures the transformation of system of values, caused by modernization of public life in the last decades, attempts of use of an extremist ideological basis for involvement of youth in criminal activity cause extreme concern. After all, the state and society consider young people as a strategic resource, as young people are a generation of people on identity formation stage, assimilation of knowledge, social values and norms, which are necessary, not only to realize their personal potential, to take place as a full member of society, but also to contribute to the development of society itself. Based on this, activities aimed at the creation of the modern technologies of studying extremism, monitoring the dynamics of its changes, development of adequate modern forms and methods of preventive work are proposed.

Keywords: extremism, terrorism, the youth, educational environment, psychological pressure, communication, extremism and terrorism prevention, information, information technology (IT).

References

1. *Ukaz Prezidenta RF ot 12 maya 2009 g. № 537 «O strategii natsional'noy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii do 2020 goda» s izmeneniyami ot 1 iyulya 2014 g.* [The Presidential Decree of May 12, 2009 № 537 «Russian national security strategy to 2020» with amendmentson 1 July 2014].
2. Chumakov A.N. *Globalizatsiya. Kontury tselostnogo mira* [Globalization. The Contours of holistic world]. Prospect, 2015. 432 p.
3. Stolyarenko L.D., Samygin S.I., Stolyarenko V.E. *Psikhologiya i pedagogika* [Psychology and Pedagogy] Rostov o / D: Phoenix, 2012. 636 p.
4. Datton K. *Flipnoz. Iskusstvo mgnovennogo ubezhdeniya* [The Art of Split-Second Persuasion]. SPb.: Peter, 2015. 336 p.
5. Bondyreva S.K., Bushmarina N.N., Klimenko N.N., Bezyuleva G.V., Stepanov N.A. *Molodezhnyy ekstremizm: preduprezhdenie i profilaktika* [Youth extremism: Prevention]. Moscow: Publishing house of the Moscow psikhologo-social university, 2015. 246 p.
6. Belonozhkin V.I., Ostapenko G.A. *Informatsionnye aspekty protivodeystviya terrorizmu* [Informational aspects of counter-terrorism]. Moscow: Hotline – Telecom, 2015. 112 p.
7. Tavorkin E.P. *Massovye kommunikatsii: Sushchnost' i sostoyanie v sovremennoy Rossii* [Mass communication: The essence and the state in modern Russia]. Moscow: Book House «LIBROKOM», 2012. 200 p.
8. Min'kovskiy G., Revin V. *Kharakteristika terrorizma i nekotorye napravleniya povysheniya effektivnosti bor'by s nim* [Characteristic of terrorism and some of the ways to improve the efficiency of the fight against it]. State and Law. Moscow, 2011. 143 p.
9. Brusnitsyn N.A. *Informatsionnaya vojna i bezopasnost'* [Information warfare and security]. Moscow: Vita-Press, 2001. 280 p.
10. *IGIL. Islamskoe gosudarstvo i Rossiya. Stolknovenie neizbezhno?* [ISIS. Islamic state and Russia. Is The Clash Inevitable?]. Moscow: Book World, 2016. 256 p.

УЧЕНЫЙ И ВРЕМЯ: МИФЫ И РЕАЛЬНОСТЬ (Размышления по поводу двух юбилеев И.В. Мичурина: 160 лет со дня рождения, 80 – смерти)

Э.П. ГОЛОВКО, *проф., МГУЛ, канд. филос. наук*⁽¹⁾

eleonora_golovko@mail.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1

Как известно, события прошлого по истечении времени нередко обрастают мифами. То же самое происходит с личностями, которые оказали какое-либо влияние на развитие общества. Касается это и биографий известных ученых. Если их идеи, и тем более практические наработки, исправно служат поколениям, продолжают реализовываться в обществе, принося пользу, то мифы, как правило, имеют место. Особую роль играют мифы при смене общественного строя. Они помогают формированию зарождающейся новой идеологии, играют выгодную, порой спасительную роль в некоторых сложных и драматических ситуациях. Мифы бытовые и научные, реальные, конкретные существовали и существуют от античности до сего дня. Без них не существует сама жизнь, она наполнена ими. Миф – это символ, символ жизни, необходимость которого диалектически очевидна. Миф есть в словах данная чудесная личностная история. Но так устроен человек, что ему хочется вместо мифа получить истину, восстановить правду о том или ином персонаже истории, какой бы она ни была. Великий труженик, талантливый ученый, выдающийся селекционер, теоретик и практик, человек, заслуживший мировое признание достижениями в сфере преобразования природы – таковым предстал со страниц научных и литературных источников И.В. Мичурин. Казалось бы, всё так, но за прекрасными словами, дифирамбами в адрес ученого потерял живой человек, многогранная творческая личность. Образ его выхолощен и мифологизирован. Многочисленные варианты биографии ученого были полны противоречий и умолчаний. Они искажали действительность, не давали полноценного образа человека, сумевшего своим талантом, целенаправленной деятельностью достичь выдающихся результатов в сфере преобразования природы. Цель данной статьи – попытаться ответить на вопрос, в чем секрет успеха известного всему миру селекционера и нужно ли сохранять те мифологемы, что до сих пор окутывают облик этого социально значимого человека.

Ключевые слова: миф, образы-символы, мифологемы, И.В. Мичурин, селекционер, изобретатель, труд, эксперимент.

Миф, как известно, буквально переводится с греческого как «сказание», «предание». Вымысел, недостоверный рассказ – такое значение придается ему в разговорной речи. Революции, перевороты для утверждения нового строя и его идеалов, как правило, активно используют мифы, создавая образ героя, близкого эпохе, героя, который воспитан или перевоспитан ею, с которого и пример можно брать. Как утверждал А. Ф. Лосев, миф всегда личностен. А личность есть миф по той причине, что она осмыслена, оформлена с точки зрения мифического сознания [1].

Неполное знание, чаще умолчание, преднамеренное сокрытие биографических данных, не устраивающих создателей мифа, способствуют его формированию. А заслуги мифологизируемого субъекта можно приписать новому строю, благосклонно относящемуся, например, к ученому. Либо новым обстоятельствам, и тем самым отделить через мифологизированную биогра-

фию достижения нового общества. Мифологемы нередко становились в биографии интересующих властные структуры персональной составляющей, которая помогала через образы-символы, образы-иконы выстраивать господствующей силе идейный фундамент нового государства. Миф сам по себе животворит, он образен и порой красив, к тому же миф не терпит проверок, доказательств. И в этом его сила.

Каждый социум подпитывает свою идеологию мифами. Создавалась мифология и для строителей социализма. Социализм создал немало мифов о людях, которые оказались случайно или неслучайно в стране свершившейся революции. Мифологизирован, например, образ предтечи космического мышления К.Э. Циолковского.

А.А. Ахматова как-то заметила, что читатели не представляют, из какого сора рождаются стихи. Не менее сложно, на наш взгляд, представить, из какого сора и мусора рождаются порой научные концепции.

Возьмем, например, популярное ныне учение под названием «космическое мышление». Один из авторов, человек, из которого сделали икону, следуя религиозному мировоззрению, писал о тех видениях, которые посетили его в Боровске и стали предтечей его будущих концепций. «Религиозный мыслитель с ясно выраженными чертами пророческого сознания» [2] в процессе формирования своих взглядов испытал влияние Блаватской, Штайнера и других. Эзотерическая литература, теософия сыграли значительную и определенную роль. Однако его религиозно-идеалистическое сознание с элементами пророческого мышления замалчивалось. Учение же мыслителя вносило важные аспекты в формирование технократического мышления, в свою очередь, помогая формировать соответствующие мифы. Конечно, это не умаляло роли его идей, но обедняло образ ученого, который сумел прорваться к высотам науки.

Стоит заметить, что в России мифологизировались знаменитые имена и биографии даже тех известных людей, кто жил задолго до революционных событий, порой очень давно. Выглядело это наивно, но идеологически было востребовано. Например, сыном бедного крестьянина-помора изображался М. В. Ломоносов. Оказалось, что это совсем не так и семья Ломоносовых не принадлежала к беднейшим слоям общества. Его отец был настолько состоятелен, что мог себе позволить построить дорогую и лучшую лодку, похожую на корабль, равной которой не было в среде поморов. Он мог спокойно платить подати за ушедшего из родных мест сына и т. п. Конечно, такие нюансы биографии ни в коей мере не уменьшали и не прибавляли заслуг великому ученому, но истине это не соответствовало.

Опубликованные за последние годы новые литературные источники позволяют развеять еще один «сладкий» миф, касающийся судьбы знаменитого русского ученого, чьи достижения могут сейчас помочь решению важной, перманентной для России продовольственной проблемы.

Ситуация в мире складывается так, что нашей стране желательно использовать свои резервы и потреблять не только заморские фрукты, а и свои, доморощенные в гораздо большем количестве. По этой и другим причинам есть повод вспомнить имя человека, биографию которого идеология преподносит через призму мифа. И есть желание избавить знаменитого ученого, чье имя носят города, поселки, улицы, площади во многих городах мира, сорта плодовых растений, некоторые садовые инструменты и даже почтовые марки от ненужного ему шлейфа лжи, одномерной и прямолинейной характеристики личности, созданной адептами социализма.

Школьные уроки ботаники завораживали. Удивителен и прекрасен мир природы. А сколько знаменитых имен тех, кто приложил свои знания и умения к познанию тайн его и облагораживанию окружающего нас мира. Правда, не все остались в памяти. Но имя Ивана Владимировича Мичурина всегда рядом. Живу на улице его имени, соприкасаюсь постоянно с представителями города Мичуринска. Методы научной работы, применяемые известным естествоиспытателем, ученым-селекционером И. В. Мичуриным, непреходяще важны по сегодняшней день для современной науки и по-прежнему вызывают интерес. Об этом напоминают беседы со студентами и аспирантами, размышления научных работников, воспоминания преподавателей. По-прежнему похвально услышать в свой адрес садовода-любителя: да он настоящий мичуринец!

Но вот варианты биографии ученого заставляют задуматься. Точнее, это его биографии, именно биографии, опубликованные в разное время в многочисленных изданиях научной литературы. Когда-то о нем писали немало. Существует даже одна из ранних монографий о философском значении его теоретического наследия [3]. В нашем веке вышла еще монография с попыткой осмысления философской составляющей его научного творчества [4]. Работ довольно много. Но сколько в них проти-

воречий! Сравним и поищем истину. Тем более, что есть еще один важный повод: в прошедшем году исполнилось 160 лет со дня рождения ученого и 80 лет со дня его кончины. К сожалению, даты прошли незамеченными.

Родился будущий знаменитый селекционер в 1855 г. в деревне Долгое Рязанской губернии. Работая конторщиком товарной станции Козлов (ныне Мичуринск), начал заниматься садоводством. Союз теории и практики, умное и дальновидное использование многочисленных методов в процессе селекции привели к тому, что в 1893–1896 гг. в его питомнике имелись тысячи гибридных семян. «При царизме Мичурин не встретил поддержки у представителей «казенной науки» [5]. Он неоднократно предлагал взять в ведение государства его опытный участок. Получил предложения от представителя департамента земледелия США продать свои коллекции (1911, 1913 г.), но наотрез отказался. Так повествует статья, опубликованная в солидном издании – Малой Советской энциклопедии. Более обстоятельно о лишениях ученого повествовал его личный секретарь, который писал о том, что у Мичурина не было ни своей земли, ни своего сада. Обездоленный, несчастный человек, преодолевая препятствия, чинимые царскими чиновниками, творил до революции [6].

Попытаемся восстановить то, что скрывалось по идеологическим соображениям, те события биографии ученого, которые либо искажались, либо о них замалчивали. Родился в поместье Вершина Рязанской губернии. Дворянин Рязанской губернии. Фамилия татарского происхождения. Первоначально это были Байчурины – выходцы из орды. Получили русское дворянство в 1685 г. Постепенно татарская фамилия трансформируется: Бачурины – Бичурины и, наконец, Мичурины. Мичуриным принадлежали село, деревня и т. п. В 1915 г. И.В. Мичурин собственноручно напишет с гордостью в одном из важных документов: «Дворянин Рязанской губернии». Страсть к садоводству берет нача-

ло в детстве. Сам Мичурин констатировал врожденную склонность к садоводству с ранних лет. И считал, что она им получена, вероятно, от прадеда, деда и отца, которые увлекались выведением новых сортов.

Выпускник Пронского уездного училища (1869) стал готовиться к поступлению в Санкт-Петербургский Александровский лицей для потомственных дворян, которому покровительствовал сам император. Закончив его, он стал бы специалистом в сфере гражданской службы и мог бы служить в Министерстве иностранных дел, но не получилось. В силу сложившихся семейных обстоятельств (остался рано без родителей) не поступил. К сожалению, ему не суждено было получить высшее образование, так же как и вышеупомянутому К.Э. Циолковскому (Так и хочется заметить: какое же хорошее образование давали уездные училища!).

Самостоятельную деятельность он начал в конце 1872 г., поступив на службу коммерческим конторщиком товарной конторы железнодорожной станции Козлов Тамбовской губернии. Отныне он свяжет судьбу с городом, основанным его предками.

Юный конторщик увлечен механикой. Талантливый электрик и механик делает немало полезных открытий и изобретений. Сначала он не только ремонтирует часы и сигнальные аппараты на участках Козлов – Рязань и других, но и принимает активное участие в реализации проекта силовой установки по производству электроэнергии для освещения железнодорожной станции Козлов-главный. А потом в список его изобретений войдут динамо-машина, своеобразные печи для отопления домов, зажигалки, спичечницы, аппарат для выгонки розового масла, машинка для резки папиросного табака, позже – разнообразные садовые инструменты: портативная окулировочная машина, секаторы, тиски для скрепления растений и т. д.

Как этот человек небольшого роста, чуть более 160, неяркой наружности, отнюдь не выдающихся физических данных, экспериментатор без высшего образования,

сумел оставить такой яркий след в науке, изобретательной деятельности и в душе человечества? Безусловно, талант, любовь к земле, трудолюбие, наблюдательность и страсть к изобретениям сыграли главную роль в его судьбе. Непросты этапы жизни. Коммерческий конторщик, кассир, заместитель начальника станции, монтер часов и сигнальных аппаратов. Всё зарабатывается трудом. Самообразование и труд. Первую известность приносит участие в реализации проекта силовой установки по производству электроэнергии для освещения железнодорожной станции Козлов-главный. Нужны средства для любимого дела – работы с растениями. И деятельность его становится многообразной. Он и механик, и железнодорожник, и часовой мастер. Содержит крохотную мастерскую на Московской улице, главной улице Козлова по ремонту часов, телефонных и телеграфных аппаратов. Ремонтирует и сам иногда созидает. Изготовил подарочный вариант будильника. Заработок приносят поездки по захолустным станциям и полустанкам участка Козлов – Рязск Рязанско-Уральской железной дороги.

Командировки связаны с ремонтом станционных и башенных часов. Может быть, где-то на этих маршрутах до сих пор есть те часы, к которым прикасались руки мастера. Так протекает обычная жизнь делового небогатого человека конца девятнадцатого века. Рядом верные помощники: жена, ее сестра, двое детей-подростков. Жена в отсутствие мужа принимает в ремонт аппаратуру. Вся семья дружно трудится на арендуемом участке, извлекая небольшую прибыль благодаря декоративному садоводству и зеленой лаборатории.

Общая семейная цель и мечта – приобрести участок земли в собственность и продолжить опыты по селекции растений, получить новые, невиданные в Российских северных краях сорта плодовых и декоративных растений, которые ведутся с 1875 г. Наконец, в 1888 г. участок приобретен. Отличный участок в двенадцать десятин тучной земли. Мичурин расстается с работой

железнодорожного часового мастера, но сохраняет часовую мастерскую.

Пять лет напряженнейшего труда потребовалось, чтобы превратить пустынный участок в молодой сад. Пять лет неутомимых экспериментов, связанных с интродукцией различных сортов растений. Но мгновенно утраченный исследователем результат заставляет сделать грустный вывод о невозможности плодотворно созидать новое на слишком удобренной земле. Начинается поиск участка с более спартанскими условиями, правда, старый будет сохранен как торговый питомник, ставший одним из источников существования.

Вот в это-то время и родился знаменитый афоризм И. В. Мичурина, прежде знакомый каждому гражданину страны Советов, но, к сожалению, не расшифрованный как полагается: «Мы не можем ждать милостей от природы: взять их у нее – наша задача». Причиной появления столь категоричного афоризма стали банальные морозы зимы 1891–1892 г., уничтожившие достижения многолетних экспериментов и доказавшие исследователю, что на черноземе посевы, посадки гибридов изнежены и нежизнеспособны. Здесь, разумеется, нет призыва к насилию над природой, а речь идет о терпеливом, бережном воспитании гибридов в суровых условиях при соответствующем составе почв. И фраза эта не является диссонансом по отношению к тем концепциям, которые дала вторая половина двадцатого века, усматривая в них выход из сложившейся экологической ситуации. Ведь сама деятельность ученого-практика – это величайшая ответственность за ту часть природы, которую он воспитывал, «приручал». Это своего рода этика ответственности, реализованная на практике [8].

Действительно, прав исследователь, образно утверждая, что природа не ставит нам на дороге сковородку с готовой яичницей и надо немало приложить усилий, добываясь желаемых результатов. Следовательно, размышляет он, природу надо перехитрить. И ученый делает вывод: от

случайностей, которые он называет «кладоискательством» селекционера, как, например, появление сорта «антоновки», случайно открытой и размноженной крестьянином Антоном, необходимо идти к установлению закономерностей. О крайней необходимости радикального улучшения «сортиментов наших садов» он напишет так: «После тринадцати лет (с 1875 г.) всестороннего теоретического и практического изучения жизни растений и, в частности, дела садоводства и его нужд в местностях средней части России, после того как я объехал и осмотрел все выдающиеся в то время сады и садовые заведения, ... я в 1888 г. пришел к заключению о слишком низком уровне состояния нашего садоводства» [9]. Разве не удивительна такая констатация сложившихся обстоятельств?

А ситуацию в сфере садоводства средней полосы России селекционер изучал начиная с двадцати лет. Тринадцать лет потратил он на то, чтобы собрать материал и, внимательно проанализировав его, сделать обоснованный вывод, о необходимости кардинальных изменений в искусстве селекции. С позиций локального понимания ситуации исследователь поднялся, тем самым, на уровень государственного осмысления состояния дел в родной стране.

Начинаются поиски новой земли, с более тощей почвой, пригодной для спартанских условий воспитания растений. Приобрел землю, построил по своему плану дом, заложил селекционный питомник. Появились наемные работники. И начались эксперименты на этом участке длиной в 35 лет. Обычная напряженная трудовая жизнь необычного человека. Не покидает известного ученого и желание изобретать. В начале XX в. он создаст чертежи и изготовит по ним удивительную железную цилиндрическую печь, самую экономную из существовавших тогда. Реклама на нее прекрасно вписалась в каталог растений питомника Мичурина. И пошла печь нарасхват по России. Неуемную страсть изобретательства, поиска нового сохранит он до конца дней своих.

Живший почти за столет до Мичурина русский Диоген, как его образно называли, философ Г. С. Сковорода видел счастье человека в возможности реализации его в сродном деле. Жизнь выдающегося селекционера – полное соответствие этим размышлениям. Когда перечитываешь работы Мичурина, поражаешься эрудиции экспериментатора, интересу к научной теории, зарубежному мировому опыту. Пред нами предстает теоретик и практик, знания его фундаментальны, но он постоянно подпитывается новым и сам его творит.

Труды экспериментатора публикуют известные журналы конца девятнадцатого – начала двадцатого века, такие как «Вестник садоводства, плодоводства и огородничества» (Издается в Санкт-Петербурге), «Прогрессивное садоводство» и другие. Мичурина включают в состав редколлегии, появляются статьи о нем в зарубежных журналах. Мировую известность приносят ему высокозимостойкие сорта плодовых растений. Следуют и награды – романовский знак, орден Святой Анны. Получив награды, ученый-практик мог теперь именоваться «ваше высокоблагородие» со всеми вытекающими отсюда обстоятельствами.

В 1894 г. выходит «Полный иллюстрированный прейскурант фруктовым, декоративным деревьям и кустарникам, а также свежего сбора семенам плодовых деревьев, имеющимся в садовом заведении Мичурина». Это чисто коммерческое предложение, составленное Мичуриным. Оно свидетельствует о его умении прекрасно оформлять свои достижения – труды многих лет – и зарабатывать на этом деньги.

Слава об удивительном мастере-селекционере доходит до США. Американские штаты заинтересованы и настойчиво предлагают селекционеру продать гибриды новых плодовых растений. Ученый наотрез не отказался, он раздумывает. Предложение переехать со всем своим хозяйством интересно и выгодно. Но оно, похоже, запоздало. 1913 г. Уже столько сделано, столько пережито и стоит ли все менять, когда тебе 58 лет.

Дворянин, кавалер царских орденов, землевладелец, частный собственник, коммерсант активно сотрудничал с иностранцами, был известен не только в России, но и за границей. Такова характеристика И.В. Мичурина в дореволюционные годы. Это своего рода послужной список до 1917 г. Он автор многочисленных научных работ. Около ста из них опубликовал до 1917 г.

После 1917 г. выйдет еще тридцать. Солидный том, выпущенный академией наук СССР в 1950 г. под названием «И.В. Мичурин. Итоги шестидесятилетних работ», собрал ряд важнейших трудов исследователя, а завершает его перечень трудов автора. С 1886 по 1917 гг. они представлены пятью страницами, содержащими название научных публикаций, а вот публикаций после, по 1934 г., всего полторы страницы. Получается, что реализовался он как ученый до революции.

Но свершившейся революции нужны были свои образы-символы, свои иконы. Во-первых, преобразователь природы, революционер природы. Во-вторых, бесребренник. В-третьих, натерпелся бед от царского правительства и царских чиновников. В-четвертых, социалистическая революция спасла ученого и его наследие и т. д. и т. п. И если прекрасные достижения служили народу, то «мичуринскую биологию» представители властных структур могли использовать для своих личных, корыстных целей, сохраняя форму, выхолащивая содержание, как это делал, например Т.Д. Лысенко.

В годы перестройки и после нее начали выходить работы, в которых предпринята попытка снять все наносное, лишнее. Постепенно восстанавливается многосторонний образ талантливого ученого, заслужившего признание уже в молодые годы и реализовавшего свой дар в зрелые [10]. С уникальной фигуры ученого и известного

миру человека снимались те мифологические слои, что были столь удобны власти.

История развития ученого как выдающейся личности и тех научных методов, которые помогли ему реализовать свои идеи и внести вклад в науку, исследуемая рядом авторов, безусловно, деидеологизирует мифологизированный образ И.В. Мичурина. Все расставляет по своим местам. И это не умаляет достоинств личности, а вызывает еще большее уважение и гордость за Россию, которая в любых условиях умела великих разумом, трудолюбивых и крайне талантливых людей рожать. А знаменитый человек, чье имя носят города, поселки, улицы России, избавился от ненужного ему шлейфа ложного образа ученого, одномерной и прямолинейной характеристики личности, созданной в угоду господствующему строю. Пред нами предстал не идеологически искаженный, выхолащенный, а подлинный и весьма непростой, во многом поучительный облик ученого.

Библиографический список

1. Лосев, А.Ф. Диалектика мифа. Из ранних произведений / А.Ф. Лосев. – М.: Правда, 1990.
2. Гаврюшин, Н.К. Космический путь к «вечному блаженству» (К.Э. Циолковский и мифология технократии) / Н.К. Гаврюшин // Вопросы философии. – 1992. – № 6. – С. 125.
3. Рубашевский, А.А. Философское значение теоретического наследия И.В. Мичурина / А.А. Рубашевский. – М., 1949.
4. Иншаков, А.С. Философские основы учения И.В. Мичурина: монография / А.С. Иншаков. – Мичуринск, 1980.
5. Мичурин, И.В. Малая советская энциклопедия / И.В. Мичурин. – М., 1959. – Т. 6.
6. Бахарев, А.Н. Мичурин в жизни / А.Н. Бахарев. – М., 1980.
7. Бахарев, А.Н. Дарвин и Мичурин / А.Н. Бахарев. – М., 1959.
8. Головкин, Ю.В. Этика ответственности – актуальные проявления / Ю.В. Головкин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2011. – № 2(78). – С. 73.
9. Мичурин, И.В. Итоги шестидесятилетних работ / И.В. Мичурин. – Издательство Академии наук СССР, 1950. – С. 15.
10. Белых, М.П. Неизвестный Мичурин / М.П. Белых. – Мичуринск, 2011.

SCIENTIST AND TIME: MYTHS AND REALITY

(Thoughts inspired by Michurin's two anniversaries: 160 years from birth, 80 from death)

Golovko E.P., Professor MSFU, Ph.D. (Philosophy)⁽¹⁾

eleonora_golovko@mail.ru

⁽¹⁾ Moscow State Forest University, MSFU, 1, 1st Institutskaya st., Mytishi-5, Moscow reg., 141005, Russia

Events of the past are known to often accrete with myths as time passes. The same applies to personalities, who contributed to development of society. Famous scientists' biographies are subject to this as well. If their ideas and, moreover, practical achievements serve good to generations and keep developing to improve the society, myths usually take place. Myths play a special role during social formation changes. They help development of new born ideology, may work advantageously or even salvatory in certain complex and dramatic situations. Common and scientific, specific myths existed since ancient times and still live on. Life is full of them, and cannot exist without them. Myth is a symbol, symbol of life, which necessity is dialectically obvious. Myth is a wonderful personal story presented in words. But the human being is so arranged that he wants truth instead of a myth, to restore truth about specific historic personality whatever it may be. Great worker, talented scientist, outstanding breeder, theorist and practitioner, a man who deserved the world's acknowledgement by his achievements in nature's transformation – that's how I.V. Michurin was depicted in scientific sources and literature. It all looked right, but high words and praises hide a living man, versatile creative personality. His image was simplified and mythologized. Multiple versions of the scientist's biography were full of contradictions and blanks. They deformed the reality and gave no full image of the man who had been able to use his talent and focused activity to achieve outstanding results in nature's transformation. The objective of the present article is to attempt answering the question – what is a success secret of the world's famous breeder, and should we keep the mythology that still covers image of this socially important man.

Keywords: myth, symbols, Michurin, breeder, inventor, labour, experiment

References

1. Losev A.F. *Dialektika mifa* [Dialectics of Myth]. Moscow, 1990.
2. Gavryushin N.K. *Kosmicheskiy put k vechnomu blazhenstvu* [Cosmic Way to Eternal Bliss] (*K.E. Tsiolkovsky I mifologiya tekhnokratii* [K.E. Tsiolkovsky and Mythology of Technocracy]). *Voprosy filosofii* [Problems of Philosophy]. 1992. № 6. p. 125.
3. Rubashevsky A.A. *Filosofskoe znachenie teoreticheskogo naslediya I.V. Michurina* [Philosophic Meaning of I.V. Michurin's Theoretical Legacy]. Moscow, 1949.
4. Inshakov A.S. *Filosofskie osnovy ucheniya I.V. Michurina* [Philosophic Basis of I.V. Michurin's Doctrine]. Michurinsk, 1980.
5. Michurin. Small Soviet Encyclopedia: Moscow, 1959, volume 6.
6. Bakharev A.N. *Michurin v zhizni* [Michurin in Life]. Moscow, 1980.
7. Bakharev A.N. *Darvin i Michurin* [Darwin and Michurin]. Moscow, 1959.
8. Golovko Y.V. *Etika otvetstvennosti – aktualnye proyavleniya* [Responsibility Ethics – Present Developments]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik. 2011. № 2 (78). p. 73.
9. Michurin I.V. *Itogi shestidesyatiletnikh rabot* [Summation of sixty-years-long works]. *Izdatelstvo Akademii Nauk SSSR* [Publishing House of the Academy of Science of USSR]. 950. p. 15.
10. Belykh M.P. *Neizvestnyy Michurin* [The Unknown Michurin]. Michurinsk, 2011.