



<http://www.volgatech.net/>

ВЕСТНИК

2(18)

2013

апрель – июнь

ПОВОЛЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научный журнал

Издаётся с ноября 2007 года

Выходит четыре раза в год

СЕРИЯ «Лес. Экология. Природопользование»

Журнал включен в **ПЕРЕЧЕНЬ** ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук

Учредитель и издатель:

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-51790 от 23 ноября 2012 г.)

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

Адрес редакции:

424006, Йошкар-Ола, ул. Панфилова, 17

Тел. (8362) 68-78-46, 68-28-41

Факс (8362) 41-08-72

E-mail: vestnik@volgatech.net

Редактор *Т. А. Рыбалка*

Дизайн обложки *Л. Г. Маланкина*

Компьютерная верстка

А. А. Кислицын

Перевод на английский язык

М. А. Шалагина

Подписано в печать 26.06.13.

Формат 60×84 1/8. Усл. п. л. 12,09.

Тираж 500 экз. Заказ

Дата выхода в свет: 30.06.13.

Цена свободная

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

Отпечатано с готового оригинал-макета
в ООО «Стринг»
424002, Йошкар-Ола,
ул. Кремлевская, 31

Главный редактор **Е. М. Романов**

Первый зам. главного редактора

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

Ответственный секретарь

А. В. Артамонова, канд. филос. наук

Редакционный совет серии:

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

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

Ioannis Gitas, д-р философии (Греция)

А. С. Исаев, д-р биол. наук, профессор, академик РАН (Москва)

Cecil C. Konijnendijk, д-р наук (Дания)

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

В. С. Сюнёв, д-р техн. наук, профессор (Петрозаводск)

Редакционная коллегия серии:

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

(зам. гл. редактора – редактор серии)

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

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

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

А. Б. Голованчиков, д-р техн. наук, профессор (Волгоград)

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

Э. А. Курбанов, д-р с.-х. наук, профессор

А. М. Носов, д-р биол. наук, профессор (Москва)

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

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

С. А. Угрюмов, д-р техн. наук, профессор (Кострома)

Е. М. Царев, д-р техн. наук, профессор

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

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

VESTNIK

2(18)
2013
april – june

VOLGA STATE UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY
Academic Periodical

Has been published since 11, 2007

Is issued 4 times a year

Series «Forest. Ecology. Nature Management»

The journal is included in the list of leading peer-reviewed journals and publications that publish the main research outcomes of Doctoral and Candidate Theses

Founder and Publisher:

Federal Budget State Educational Institution
of Higher Vocational Training «Volga State
University of Technology»

The journal is included in the register of
Federal Service for Supervision in the Sphere
of Communications, Information Technology
and Mass Communications (Certificate of
registration ПИ № ФС77-51790 dated 23
November, 2012)

Any use of articles without the written consent
of the editorial board is strictly prohibited.

Address:

424006, Yoshkar-Ola, 17, Panfilova St.,

Tel. (8362) 68-78-46, 68-28-41

Fax (8362) 41-08-72

E-mail: vestnik@volgatech.net

Editor in Chief E. M. Romanov

Vice Editor in Chief

V. A. Ivanov, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

Executive Secretary

A. V. Artamonova, Candidate of Philosophical Sciences

Editorial Board:

E. M. Romanov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

A. H. Gazizullin, Doctor of Agricultural Sciences, Professor (Kazan)

Ioannis Gitas, PhD (Greece)

A. S. Isaev, Doctor of Biological Sciences, Professor, Member of the Russian Academy of Sciences (Moscow)

Cecil C. Konijnendijk, PhD (Denemark)

A. I. Pisarenko, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Member of the Russian Academy of Agricultural Sciences (Moscow)

V. S. Syuney, Doctor of Technical Sciences, Professor (Petrozavodsk)

Editorial team:

S. A. Denisov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

(*Vice Editor in Chief – the Editor of Series*)

V. P. Besschetnov, Doctor of Biological Sciences, Professor
(Nizhny Novgorod)

O. N. Burmistrova, Doctor of Technical Sciences, Professor (Ukhta)

P. F. Voytko, Doctor of Technical Sciences, Professor

A. B. Golovanchikov, Doctor of Technical Sciences, Professor
(Volgograd)

Y. P. Demakov, Doctor of Biological Sciences, Professor

E. A. Kurbanov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

A. M. Nosov, Doctor of Biological Sciences, Professor (Moscow)

A. G. Pozdeev, Doctor of Technical Sciences, Professor

M. G. Salikhov, Doctor of Technical Sciences, Professor

S. A. Ugryumov, Doctor of Technical Sciences, Professor (Kostroma)

E. M. Tsarev, Doctor of Technical Sciences, Professor

V. L. Chernykh, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Yu. A. Shirnin, Doctor of Technical Sciences, Professor

Editor **T. A. Rybalka**

Cover design **L. G. Malankina**

Computer assisted make up

A. A. Kislitsyn

Translation

M. A. Shalagina

Passed for printing 26.06.13.

format 60×84 1/8. No. of press sheets 12,09.

Printing run 500 copies. Order No

Release date: 30.06.13.

Open price

Volga State University of Technology

424000, Yoshkar-Ola, 3, Pl. Lenina

Printed from the layout original

At LLC «String»

424002, Yoshkar-Ola,

31, Kremlevskaya St.

СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

А. С. Манаенков, В. А. Шкуринский, М. В. Костин. Особенности роста и долговечность насаждений «дубрав промышленного значения» на зональных почвах сухостепного Придонья

В. А. Закамский, Х. Г. Мусин. Оценка лесных территорий для массового отдыха по стадиям рекреационной дигрессии

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

Д. Ю. Дручинин, О. Р. Дорняк, М. В. Драпалюк. Теоретические исследования процесса выкопки саженцев с комом почвы

В. Ю. Иливанов, М. Г. Салихов. Исследование долговечности модифицированного щебеночно-мастичного асфальтобетона при действии агрессивной среды

А. Н. Чемоданов, П. Е. Царев. Исследование влияния скорости движения транспортера на процесс поштучной выдачи бревен в буферных магазинах с отсекателями с постоянной длиной захвата

Н. К. Гусев, П. А. Нехорошков. Исследование прочности слоёв конструкции дорожной одежды из материалов, укрепленных полимерно-минеральной композицией «Nicoфлок»

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ. БИОТЕХНОЛОГИИ

Е. М. Романов, Д. И. Мухортков, Т. В. Нуреева. Мелиорация почв лесных питомников с применением нетрадиционных органических удобрений

Э. А. Курбанов, О. Н. Воробьев, Ю. А. Полевщикова, С. А. Незамаев, Е. Н. Демисева. Сравнительный анализ спутниковых снимков высокого разрешения при дешифрировании древостоев, загрязненных отходами силикатного производства

А. А. Прохорова, О. В. Шейкина, Ю. Ф. Гладков. Генетическая изменчивость вегетативных потомств плюсовых деревьев ели на архиве клонов в Республике Марий Эл

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

Редколлегия журнала. Калинин Константин Константиновичу – 75 лет

Информация для авторов

CONTENTS

FORESTRY

A. S. Manaenkov, V. A. Shkurinskiy, M. V. Kostin. Growth particularities and long life of «industrial oaks» stands at the climatic soil type of dry steppe Don region

V. A. Zakamskiy, Kh. G. Musin. Forests evaluation for tourism by recreational digression stages

FORESTRY TECHNOLOGIES AND MACHINES

D. Y. Druchinin, O. R. Dornyak, M. V. Drapalyuk. Theoretical research of plantlets lifting process with soil clod

V. Yu. Ilivanov, M. G. Salikhov. Study of the modified macadam-mastic asphalt concrete lifespan in corrosion medium

A. N. Chemodanov, P. E. Tsarev. Study of elevator travelling speed influence on piecewise delivery of logs in buffer magazine with log sorter with one grip length

N. K. Gusev, P. A. Nekhoroshkov. Study of solidity of road structure constructed with the use of polymer-mineral composition «Nicoфлок»

PROBLEMS IN ECOLOGY AND RATIONAL NATURE MANAGMENT. BIOTECHNOLOGIES

E. M. Romanov, D. I. Mukhortov, T. V. Nureeva. Melioration of soils in forest nursery with the use of non-traditional organic fertilizers

E. A. Kurbanov, O. N. Vorobyev, Y. A. Polevshikova, S. A. Nezamayev, E. N. Demisheva. Comparison analyses of satelite images of high resolution for interpretation of forests contaminated by wastes of silicate production

A. A. Prokhorova, O. V. Sheykina, Yu. F. Gladkov. Genetic variation of vegetative offsprings of spruce plus trees on the base of clones (Republic of Mari El)

DATES. EVENTS. COMMENTS

Members of Editorial Board. Konstantin Konstantinovich Kalinin is 75

Information for the authors

5

20

30

38

46

52

59

74

91

101

103

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 632.92:631.16

А. С. Манаенков, В. А. Шкуринский, М. В. Костин

ОСОБЕННОСТИ РОСТА И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ НАСАЖДЕНИЙ «ДУБРАВ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ» НА ЗОНАЛЬНЫХ ПОЧВАХ СУХОСТЕПНОГО ПРИДОНЬЯ

Приведены материалы изучения современного состояния, особенности роста чистых и смешанных искусственных дубрав на комплексе каштановых и темно-каштановых почв водоразделов Сало-Манычского междуречья. Обоснована и предложена технология повышения качества и долговечности древостоя дуба.

Ключевые слова: сухая степь; плакоры; островные искусственные дубравы; состояние; особенности роста; повышение долговечности.

Введение. Как уже отмечалось [1, 2], большую экологическую, социально-хозяйственную значимость для практически безлесных регионов южной России и познавательный интерес представляют искусственные островные леса на плакорах водораздельных плато, заложенные в основном в 50-е и, отчасти, в 60–70-е годы минувшего столетия в порядке реализации идеи создания дубрав промышленного значения по правому берегу Волги (Волгоградская и Астраханская области) и в районах Дона и Маныча (Ростовская область). В научном отношении наиболее дискуссионными остаются оценка оптимального породного состава [3–6] и возможной долговечности насаждений дуба черешчатого [7–9] как одной из наиболее ценных пород для степного лесоразведения на зональных почвах.

Наши исследования проводились в июле 2012 года в насаждениях урочищ «Ильичевское» и «Дубовое» Зимовников-

ского лесничества Ростовской области (Зимовниковский и Орловский районы), расположенных в подзоне водораздельных типчаково-ковыльных степей на эрозийно-денадационных низменных равнинах Сало-Манычского междуречья с абсолютными отметками поверхности 50–100 м. Климат района континентальный засушливый – переходный от степного к полупустынный. Годовая норма осадков 350–400 мм, сумма эффективных температур воздуха 3200–3400°C, среднегодовая испаряемость около 750 мм. Лесорастительные условия заметно улучшаются с востока-северо-востока на запад-юго-запад территории.

Цель исследования – разработать предложения к технологии повышения долговечности, продуктивности и мелиоративной эффективности искусственных дубрав на безлесных плакорах сухой степи. Для ее достижения были поставлены следующие **задачи**:

- изучить особенности роста насаждений дуба на основных разностях почв и рельефа плакорной местности;
- оценить влияние на состояние и долговечность насаждений лесокультурных и лесоводственных факторов;
- выявить закономерности формирования и деградации насаждений.

Объекты, материалы и методика.

Ур. «Ильичевское» (около 2500 га) расположено в 20–40 км к востоку и юго-востоку от р. п. Зимовники в пределах Каберле-Малогашунского водораздела на участке плакора, наиболее рассеченном ложбинно-лощинной сетью. В почвенном покрове преобладают каштановые средне-

Таблица 1

Физико-химический состав почвенного покрова островных дубрав в сухостепной подзоне Сало-Маньчского междуречья

№ пробной площади (ПП)	Тип почвы	Слой, см	Содержание физической глины, %	Содержание CaCO ₃ , %	Водорастворимые соли, %	
					Сумма	Хлориды
10	Лугово-каштановая	3-10	37,6	–	0,041	0,026
		25-30	52,75	–	0,057	0,027
		50-55	–	–	0,066	0,030
		65-70	–	5,15	0,049	0,030
		90-95	59,64	8,9	0,031	0,033
		115-120	27,3	41,2	0,110	0,033
11	Каштановая	10-20	37,88	–	0,040	0,023
		30-35	–	20,6	0,051	0,022
		50-55	49,08	31,6	0,054	0,020
		60-65	–	20,1	0,075	0,025
12	Каштановая	10-20	40,98	–	0,067	0,013
		35-40	–	–	0,064	0,014
		65-70	–	–	0,043	0,018
		90-95	–	16,7	0,055	0,021
		110-115	46,30	29,9	0,077	0,026
		145-150	–	28,5	0,086	0,027
13	Каштановая	8-15	46,3	–	0,046	0,017
		40-50	–	–	0,063	0,019
		75-85	–	–	0,071	0,021
		90-100	–	14,7	0,084	0,023
		105-110	–	15,1	0,090	0,025
		125-130	–	17,5	0,094	0,029
		150-155	–	16,8	0,101	0,033
15	Темно-каштановая	10-20	47,96	–	0,050	0,017
		35-40	–	–	0,051	0,017
		45-50	–	–	0,072	0,018
		60-65	54,16	22,3	0,089	0,020
		80-85	–	29,9	0,151	0,018
		115-120	58,67	34,3	–	0,022
		150-155	–	46,3	–	–
16	Темно-каштановая	10-20	47,89	–	0,086	0,012
		35-40	–	19,6	0,078	0,014
		45-50	–	36,4	–	0,014
		60-65	–	34,0	0,064	0,020
		80-85	–	36,4	0,054	0,021
		105-110	65,45	36,0	0,063	0,026
19	Темно-каштановая	2-10	57,64	–	0,092	0,017
		15-20	57,44	–	0,080	0,017
		35-40	–	–	0,064	0,013
		45-50	–	–	0,075	0,016
		60-65	–	10,6	0,045	0,026
		75-80	63,5	26,1	0,077	0,026
		90-95	–	34,0	0,036	0,029
		110-115	–	39,5	0,079	0,031
		135-140	44,2	51,8	0,079	0,034

и тяжелосуглинистые карбонатные слабозасоленные (хлора 0,015–0,033 %) почвы на эолово-делювиальных суглинках четвертичных террас. Ур. «Дубовое» (около 1600 га) – в 40–50 км к западу-юго-западу от него на междуречной (р. Двойная – р. Б. Каберле) также расчлененной равнине, покрытой темно-каштановыми тяжелосуглинистыми карбонатными слабозасоленными (хлора 0,02 % и менее) почвами на элювиальном (элювиально-делювиальном) суглинке (табл. 1). Грунтовые воды недоступны для древесной растительности.

Были изучены материалы лесоустройства 2004–2005 гг., проведено рекогносцировочное обследование и описание насаждений в возрасте 30–60 лет на площади нескольких тысяч гектаров. На 11 пробных площадях, заложенных в соответствии с типовыми методиками, детально изучены рост, состояние древостоя и основные характеристики почвогрунта.

Средние таксационные показатели насаждений на пробных площадях представлены в табл. 2.

Результаты и обсуждение. Установлено, что за прошедшие после лесоустройства 6–7 лет состояние насаждений дуба 50-х годов посадки повсеместно сильно ухудшилось. В массе появились древостои с большой долей усохших и суховершинных деревьев верхнего яруса. Процесс их отмирания принял масштабный характер и позволяет говорить о том, что на комплексах тяжелых каштановых и темно-каштановых почв Сало-Маньчского междуречья дубравы, созданные с использованием известных способов, доживают не более чем до 40–60 (65) лет и распадаются. Процесс распада может начинаться уже в молодняке и с нарастающей интенсивностью продолжаться несколько десятилетий, синхронизируясь с динамикой атмосферного увлажнения территории. Основная причина – ухудшение водного режима корнеобитаемой зоны с возрастом насаждений, вызванное ростом

потребности дуба, его спутников и подлеска во влаге, либо ростом освещенности и задернованности почвы степными травами. Насаждения ясеня, робинии и других пород явно уступают дубравам как в продуктивности, так и долговечности.

В целом немного в лучшем состоянии находятся насаждения в ур. «Дубовое», где, по-видимому, атмосферных осадков выпадает на 20–30 мм больше, а почва содержит меньше хлоридов.

В обоих урочищах неблагоприятные лесорастительные условия складываются на возвышенных участках местности с небольшой глубиной промачивания почвы атмосферными осадками (горизонт скопления карбонатов в почве расположен на глубине 45–50 см). Лучшие – в ложинах, широких ложбинах, на их пологих теневых склонах и в замкнутых понижениях. Почва в этих местах получает дополнительную влагозарядку за счет перераспределенного снега, весеннего и ливневого стока (скопление карбонатов глубже 100 см).

На приподнятых выпуклых и ровных участках рост дуба в высоту отличается большой неравномерностью и после 20–30 лет сильно замедляется или прекращается (рис. 1). Быстрее всего прирост уменьшается, а древостой усыхает в чистых насаждениях при сильном задернении почвы степными травами (ПП 11, 13). Медленнее (на 5–10 лет) это происходит при разрастании подлеска (ПП 14, 20) и, особенно, при наличии второго яруса только из сопутствующих пород (ПП 12). Максимальный (4–8 мм) прирост по диаметру формируется в возрасте с 2 до 10–12 лет. В дальнейшем он составляет 2–4 мм в год, а в последние 5–7 лет жизни уменьшается до едва заметной величины. В этих условиях средняя высота семенных насаждений в возрасте около 50 лет составляет 10–12 м (на переходных экотопах – до 14 м), средний диаметр 12–16 см, запас в основном низкотоварной стволовой древесины 80–100 м³/га.

Таблица 2

**Таксационные показатели насаждений искусственных дубрав на плакорах Сало-Манычского междуречья.
Пробные площади 10-14 – ур. «Ильичевское», 15-20 – ур. «Дубовое» (Зимовниковское лесничество Ростовской области)**

№ ПП	Почва, ТУМ	Состав (Ширина междурядий, м)	Воз- раст, лет	Порода	Нср., м	Дср., см	Бони- тет	Пол- нота	Число деревьев на га				Запас (по породам), м ³ /га	Средний прирост	
									Всего, шт.	Здоров- ых, %	Ослаб- ленных, %	Суховер- шинных и усох- ших, %		по высоте, м	по диамет- ру, см
10	Лугово-каш- тановая, Д ₂	10Д (5-6)	60	Д	15	23	III	0,7	506	45,7	34,6	19,7	163	0,25	0,37
11	Каштановая, Д ₁	10Д (5-6)	42	Д	8	14	IV	0,1	731	3,4	8,5	88,1	57	0,13	0,25
12	Каштановая, Д ₁	9Д1Гл+Яз (2)	60	Д Гл Яз	11 6 8	17 9 10	IV Va V	0,8	757 320 273	1,0 2,4 14,3	37,1 19,5 45,7	61,9 77,9 40,0	106 6 12	0,18 0,10 0,13	0,37 0,15 0,18
13	Каштановая, Д ₁	10Д (3)	60	Д	20	22	I	0,6	577	0	21,5	78,5	214	0,27	0,37
14	Каштановая, Д ₁	7Д3Яз+Клп (2-3)	57	Д Яз Клп	17 13 8	20 17 8	II III V	0,7	333 384 ед.	11,1 50,0 100,0	13,9 40,0 –	75,0 10,0 –	90 65 –	0,30 0,23 0,14	0,42 0,28 0,14
15	Темно-кашта- новая, Д ₂	10Д (3)	49	Д	17	19	I	1,3	1151	64,6	12,3	23,1	282	0,35	0,43
16	Темно-кашта- новая, Д ₁	10Д (3)	48	Д	14	15	II	1,1	1348	53,6	13,4	33,0	175	0,29	0,36
17	Темноцвет- ная, Д ₂	10Д (3)	51	Д	18	25	II	2,0	1033	80,0	–	–	453	0,35	0,49
18	Темно-кашта- новая, Д ₁	10Д (3)	32	Д	9	13	III	0,8	1877	55,6	2,2	42,2	137	0,28	0,34
19	Темно-кашта- новая, Д ₂	10Д (3)	33	Д	12	11	II	0,9	2553	23,4	8,0	68,6	160	0,36	0,46
20	Темно-кашта- новая, Д ₂	5Д5Яз (1,5)	57	Д Яз	15 13	13 11	III III	0,9	714 942	17,0 33,9	12,8 48,4	70,2 17,8	74 60	0,26 0,23	0,28 0,25

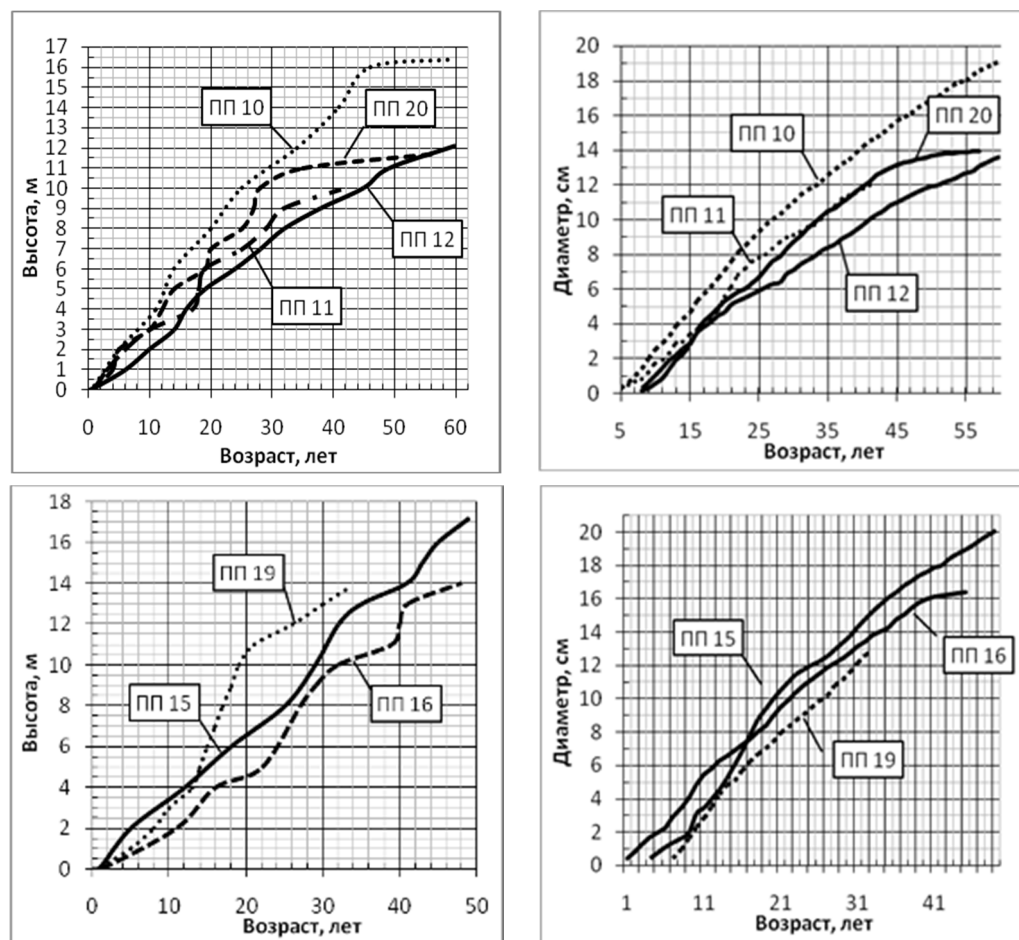


Рис. 1. Ход роста в высоту и по диаметру дуба черешчатого в чистых насаждениях с 5-6-метровыми (ПП 10 и 11) и 3-метровыми междурядьями (ПП 15, 16 и 19), при древесном (ПП 12) и древесно-кустарниковом типе смешения (ПП 20) на приподнятых и слабонаклоненных участках с каштановой (ПП 11 и 12) и темно-каштановой почвой (ПП 16, 19 и 20), в понижении (ПП 10) и на теневом склоне (ПП 15) с лугово-каштановой и темно-каштановой почвой плакоров Сало-Маньчского междуречья

При отсутствии своевременных рубок ухода, начиная с фазы чаща-жердняк, отпад деревьев происходит циклично (в острозасушливые годы) при малом количестве (2–10 %) ослабленных деревьев в насаждении (см. табл. 2, ПП 18 и 19) и носит групповой (в рядах) или куртинный характер (следствие низкой дифференциации древостоя). При этом резко повышается освещенность стволов и поверхности почвы. На живых стволах в массе образуются водяные побеги, а в окнах полога поселяются и быстро развиваются степные травы или кустарники.

С возрастом и улучшением лесорастительных условий дифференциация древостоя по состоянию повышается, и до

начала массового усыхания отмирают в основном отстающие в росте деревья (из верхних ступеней толщины, рис. 2).

Как в смешанных, так и в чистых насаждениях интенсивное отмирание дуба происходит после 35–50 лет и к 40–60-ти годам заканчивается практически полным выпадением его из состава (ПП 11–13, 20). Чистые насаждения уступают место степным фитоценозам (рис. 3), смешанные – трансформируются в кустарниковые заросли (жимолость, скумпия, карагана, клен татарский, бересклет европейский) с разреженным верхним ярусом из спутников дуба (ясеня зеленого, клена полевого, гледичии, порослевых деревьев вяза мелколистного и робинии).

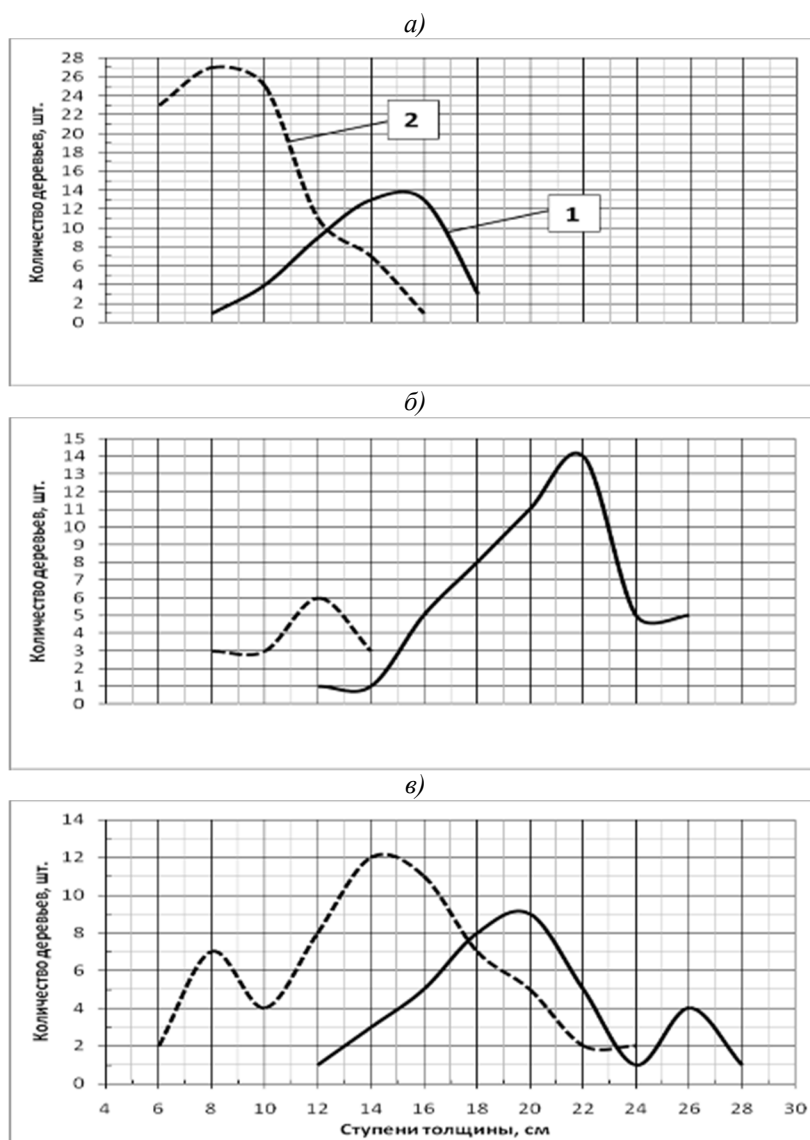


Рис. 2. Распределение деревьев дуба по состоянию (1 – здоровые и ослабленные, 2 – усохишие и усыхающие) в 33-летнем (а), 49-летнем (б) чистых насаждениях на темно-каштановой почве (ТЛУ Д₂) и 60-летнем смешанном насаждении (в) на каштановой почве (ТЛУ Д₁) Сало-Манычского междуречья. Зимовниковское лесничество Ростовской области, кв. 13, выд. 2; кв. 15, выд. 2 и кв. 16, выд. 27. Июль, 2012 г.

В потускулах, где концентрируются перераспределенные осадки, формируются достаточно производительные (запас стволовой древесины в 50–60 лет 150–400 м³/га и более), высокие (средняя высота 15–21 м) и более долговечные (55–65 лет) насаждения (ПП 10, 15, 17). В первые 5–10 лет рост дуба здесь мало отличается от его роста на возвышенных участках, где он поддерживается за счет буферных запасов почвенной влаги. Но уже к концу второго десятилетия средняя высо-

та насаждений в понижениях становится на 1–2 м больше (см. рис. 1). До 40–50 лет дуб растет относительно равномерно по годам, затем его прирост в высоту также резко замедляется, а в последнее десятилетие практически приостанавливается. Радиальный прирост в этих условиях достигает максимума (8–12 мм) в первые 20–25 лет. Затем он уменьшается и до 40–50 лет составляет 2–4 мм, в последнее десятилетие жизни насаждений – 1–2 мм и менее.



Рис. 3. 60-летнее чистое широкорядное насаждение дуба на каштановой почве возвышенного участка (на заднем плане насаждение в ложбине). Ур. «Ильичевское», кв. 16, выд. 6. Июль, 2012 г.

В чистых насаждениях, созданных квадратно-гнездовым способом с расстоянием между продольными осями гнезд 5–6 м, при регулярном прореживании и длительном уходе за почвой дуб относительно быстро растет с первых лет жизни и формирует толстомерные деревья с низко (3–5 м) опущенными широкими кронами (ПП 10). Такие насаждения очень поздно и слабо смыкаются, почти не образуют лесной среды (рис. 4). Стволы в них от кроны до самого низу покрыты вторичными сучьями. Из-за небольшой густоты запас стволовой древесины к 60-ти годам не превышает $200 \text{ м}^3/\text{га}$, из которой около 50 % деловой. Однако в глубоких замкнутых понижениях чистые культуры дуба также рано изреживаются и распадаются в возрасте около 50 лет по причине периодического вымокания деревьев (кв. 24, выд. 7).

После прекращения агротехнических уходов и размыкания полога луго-степная растительность захватывает все

подкронное пространство, исключая появление самосева дуба. Интенсивно расходуя влагу, плотный напочвенный покров подавляет и рост древостоя. Окончательно разрушается «хрупкая» лесная среда и насаждения быстро (в течение 7–15 лет) деградируют. Сплошную лесовозобновительную рубку в таких насаждениях с равномерно густым (400–600 деревьев на 1 га) древостоем следует проводить до его сильного ослабления (в лучших условиях, по-видимому, в 40–45, максимум 50 лет), завершая лесосечные работы минерализацией почвы в междурядьях.

На плоских и слабо вогнутых участках обоих урочищ не обеспечивает повышения долговечности дуба и комбинированный тип смешения культур (ПП 14 и 20, кв. 19, выд. 2 и др.). Высаженные между рядами дуба 2–3 ряда сопутствующих пород и кустарников положительно влияют на него только в первые годы. В последующем они становятся сильными конкурентами дуба за влагу.



Рис. 4. 60-летнее чистое широкорядное насаждение дуба на лугово-каштановой почве понижения. Ур. «Ильичевское», кв. 16 выд. 18. ПП 10. Июль, 2012 г.

Без лесоводственных уходов в присутствии вяза и скумпии дуб отмирает целыми рядами и к 55–60-летнему возрасту сохраняется в виде редких, часто суховершинных деревьев. Вяз приземистый перерастает дуб, но рано достигает спелости, суховершинит и выпадает, образуя недолговечную поросль и прогалины. Скумпия, напротив, ускоряет рост и формирует высокие (5–7 м) мощные кусты с диаметром стволиков 6–12 см.

На пологом склоне западной экспозиции к 57-ми годам дуб практически полностью погиб и в смешении с рядами ясеня зеленого, клена полевого и скумпии (ПП 14). Несмотря на его крупные размеры (высота 17–18 м, диаметр 20–24 см) и отставание в росте подгона, редкие живые дубы приурочены преимущественно к ложбинам стока. При большом количестве сухостоя дуба, за счет хорошо сохранив-

шегося ясеня и отдельных крупных экземпляров клена, насаждение выглядит здоровым, а разросшиеся кусты скумпии и подрост клена сделали его труднопроходимым (рис. 5).

Примерно в таком же состоянии находилось и 57-летнее сложное насаждение в кв. 6, выд. 4 урочища «Дубовое» (ПП 20). Здоровых экземпляров дуба высотой 14–16 м и диаметром 16–18 см оставалось около 17 %. В последние годы процесс его отмирания идет очень быстро. Ясень зеленый под пологом дуба, напротив, хорошо сохранился. При ширине междурядий 1,5–2,0 м он не наклоняется в их сторону и образует прямоствольные деревья. По мере размыкания верхнего полога кустарники (карагана, клен татарский, бересклет) ускорили развитие, образовали почти непроходимую чащу.



Рис. 5. 57-летнее насаждение дуба в смешении с ясенем зеленым, кленом полевым и скумпией на каштановой почве. Ур. «Ильичевское», кв. 26, выд. 28. ПП 14. Июль, 2012 г.

Неудачным следует признать и древесно-теневой тип смешения лесных культур, при котором квадратно-гнездовые кулисы дуба чередуются с двумя рядами ясеня зеленого и гледичии (ПП 12). Подгоночные породы ускорили смыкание полога и способствовали быстрому росту и выходу дуба в верхний ярус, но в отсутствие рубок ухода образовали невысокий (6–8 м) «частокол» из тонкомерных сильно угнетенных и усохших деревьев (особенно гледичии). Местами они

давно выпали. На прогалинах поселились жимолость, скумпия, клен татарский и образовались луговины (рис. 6). Все это постепенно ухудшало водный режим почвы и привело к расстройству яруса главной породы. К 60-ти годам сохранилось всего около 1 % здоровых экземпляров дуба, а доля усохших деревьев составила более 60 %, несмотря на то, что несколько лет назад в его рядах была проведена выборочная санитарная рубка (имеются кучи из полусгнивших вершин).



Рис. 6. 60-летнее насаждение дуба в смешении с ясенем зеленым и гледичией на каштановой почве. Выпадающие ряды подгона замещаются кустарником и травами. Ур. «Ильичевское», кв. 26, выд. 28. ПП 12. Июль, 2012 г.



Рис. 7. Чистое 50-летнее насаждение дуба с 3-метровыми междурядьями на темноцветной почве лощины. Ур. «Дубовое», кв. 14, выд. 4. Июль, 2012 г.



Рис. 8. Чистое 50-летнее насаждение дуба с узкими междурядьями и подлеском из робинии на темноцветной почве лощины. Ур. «Дубовое», кв. 13, выд. 4. ПП 17. Июль, 2012 г.

Наибольшей производительностью, хорошим состоянием, качеством стволовой древесины и потенциальным долголетием отличаются чистые насаждения дуба, созданные рядами через 2,5–3 м. Даже на переходных экотопах (пологих теневых склонах) такие насаждения хорошо растут и доживают до 55–60 лет (ПП 13). В понижениях при своевременном изреживании к 50 годам (рис. 7) средняя высота дуба достигает 15–17 м и более, диаметр – 20–25 см, запас древесины – 280–450 м³ (ПП 15, 17). Однако они имеют и серьезный недостаток – в течение нескольких десятилетий после смыкания крон в загущенных молодых насаждениях высока опасность резкого притупления роста, чрезмерного самоизреживания и раннего распада древостоя.

Изучение насаждений на ПП 15, 16 и 17 дает основание считать, что на тяжелых почвах плакоров сухой и засушливой степи хорошей подлесочной породой дуба является акация белая (рис. 8). Поселившись естественным путем 10–15 лет назад

(под пологом 30–40-летних насаждений), она образовала неплотный второй ярус высотой 2,5–7,0 м, дополнительно притеняет почву. Как порода светолюбивая, робиния периодически отмирает, образует порослевые кусты, расходуя мало влаги, но обогащает почву азотом и предупреждает главную опасность для степных дубрав – их чрезмерное осветление. Подлесок из робинии не препятствует и появлению самосева дуба.

Выводы. Искусственные островные леса на открытых расчлененных участках плакоров сухой степи имеют большое природоохранное, социальное и хозяйственное значение. В окружении сплошь распаханых земель они исполняют роль биологических резерватов, мест активного отдыха людей, источника товарной древесины. Распадающиеся бескустарниковые древостои являются также очагами восстановления зональных степей.

На тяжелых слабозасоленных каштановых и темно-каштановых почвах для создания массивных насаждений лучшей

главной породой является дуб черешчатый. При традиционных способах культивирования долговечность дубрав не превышает 40–60 лет. Главная причина раннего распада насаждений – разрушение лесной среды и резкое ухудшение водного режима средневозрастных древостоев. Чистые древостои замещаются степными фитоценозами, смешанные – подлесочными кустарниками.

Наиболее производительные и долговечные насаждения формируются в понижениях рельефа и на теневых склонах ложбинно-лощинных звеньев суходольной гидрографической сети при дополнительном увлажнении почвы перераспределенными осадками. Поэтому расчлененные равнины плакоров в сухой степи целесообразно облесять ландшафтным методом, занимая дубравами лучшие в лесорастительном отношении экотопы. Приподнятые участки и инсолируемые склоны (до 70 % площади [4]) следует оставлять для восстановления степной растительности, а также создания кустарниковых ремизов.

Лучшие условия для роста дуба складываются в чистых узкорядных сомкнутых насаждениях. При правильной организации лесоводственных мероприятий в депрессиях рельефа дубравы могут производить 150–450 м³/га стволовой древесины среднего качества, формировать продуктивные лесохозяйственные и рекреационные угодья. Применение сложных схем смешения пород вызывает необходимость повышенного внимания и дополнительных затрат на рубки ухода за дубом. В чистых культурах с широкими междурядьями (5–6 м) он нуждается в пожизненных агротехнических уходах.

На тяжелых автоморфных почвах засушливой зоны качество и долговечность

насаждений можно существенно повысить путем удлинения периода быстрого роста, а следовательно, и усиления дифференциации молодых древостоев, содействия оптимизации их густоты и длительному сохранению лесной среды. Для этого необходимо накопление больших запасов буферной влаги в почве, создание чистых густых культур, своевременное проведение низовых рубок ухода, стимулирование процесса формирования отеняющего подлеска.

Технология создания долговечных культур на плакорах засушливой зоны должна включать 2–5-летнее парование почвы, закладку культур рядами через 2,5–3,0 м с числом посадочных мест 7–10 тыс./га, проведение агротехнических уходов до смыкания насаждений, а с конца ювенального периода – через 2–3 года прочисток и прореживаний низкой (до 10–15 % по числу стволов) интенсивности. Для стимулирования естественного формирования в средневозрастных насаждениях неконкурентного почвоулучшающего подлеска при создании культур 10–15 рядов дуба следует чередовать с 3–4 рядами робинии. В мелкоконтурных посадках ряды робинии целесообразно размещать на их периферии.

Возведение запруд в ложбинах стока для дополнительной влагозарядки почвы, предложенное лесничим П. А. Лукьяновым [4], следует использовать для улучшения роста сформировавшихся насаждений, но оно не должно приводить к их длительному затоплению в теплый период.

Применение ландшафтного подхода и новой технологии создания культур позволит увеличить долговечность островных дубрав в сухой степи до 65–70 лет, а в отдельных случаях и больше.

Список литературы

1. Manaenkov, A. S. Industrial forest growth on chestnut soils of dry steppe zone on the European territory of Russia / A.S. Manaenkov, M.V. Kostin, V.A. Shkurinskiy // Issues of limits, reproduction and rational use of natural resources: Materials digest of the XXXVI International Research and Practice Con-

References

1. Manaenkov A.S., Kostin M.V., Shkurinskiy V.A. Industrial Forest Growth on Chestnut Soils of Dry Steppe Zone on the European Territory of Russia. Issues of Limits, Reproduction and Rational Use of Natural Resources: Materials Digest of the XXXVI International Research and Practice Conference and

ference and the III stage of the Championship in Earth sciences, biological and agricultural sciences (London, November 05 – November 12. 2012). – London, 2013. – P. 113-115.

2. Манаенков, А.С. Современное состояние и возможность выращивания дубрав промышленного значения на комплексных почвах сухой степи и полупустыни / А.С. Манаенков, М.В. Костин, В.А. Шкуринский // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2012. – № 2 (16). – С. 12-19.

3. Высоцкий, Г.Н. О выборе наиболее подходящих для культуры в степях форм древесной растительности / Г.Н. Высоцкий. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1949. – 16 с.

4. Кирюков, Ю.Л. Опыт лесоразведения на каштановых почвах Сальской степи: автореф. дисс. ... канд. с.-х. н. / Ю.Л. Кирюков. – М., 1953. – 15 с.

5. Карева, А.И. Дуб и его спутники на светло-каштановых почвах Сталинградской области: Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук / А.И. Карева. – Саратов, 1955. – 14 с.

6. Годнев, Е.Д. О возможности создания дубравных массивов в сухих степях / Е.Д. Годнев // Лесное хозяйство. – 1983. – № 8. – С. 38-39.

7. Ерусалимский, В.И. Опыт выращивания массивных дубрав в сухой степи / В.И. Ерусалимский, А.А. Власенко // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию Всероссийского научно-исследовательского института агролесомелиорации. – Волгоград, ВНИАЛМИ, 2011. – С. 309-311.

8. Ерусалимский, В.И. Долговечность семенного (материнского) поколения степных дубрав / В.И. Ерусалимский, А.А. Власенко // Лесное хозяйство. – 2012. – № 4. – С. 32-33.

9. Власенко, А.А. Рост, состояние, долговечность и возобновление дуба черешчатого в условиях сухой степи: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. 06.03.02 / А.А. Власенко. – Пушкино, 2012. – 22 с.

the III Stage of the Championship in Earth Sciences, Biological and Agricultural Sciences (London, November 05-12. 2012). London, 2013. P. 113-115.

2. Manaenkov A.S., Kostin M.V., Shkurinskiy V.A. Sovremennoe sostoyanie i vozmozhnost vyrashchivaniya dubrav promyshlennogo znacheniya na kompleksnykh pochvakh sukhoy stepi i polupustyni [Present-Day Condition and Possibilities for Cultivation of Industrial Oak Groves at the Complex Soils of Dry Steppe and Semi-Desert]. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les.Ekologiya.Prirodopolzovanie [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.:Forest.Ecology.Nature Management]. 2012. No 2 (16). P. 12-19.

3. Vysotskiy G.N. O vybere naibolee podkhodyashchikh dlya kultury v stepyakh form drevesnoy rastitelnosti [On the Choice of the Best for Steppes Species of Trees]. Moscow-Leningrad, Goslesbumizdat Publ., 1949. 16 p.

4. Kirukov Yu. L. Opyt lesorazvedeniya na kashtanovykh pochvakh Salskoy stepi: Avtoref.Diss.S-Kh.Nauk. [Experience of Forest Cultivation on Chestnut Soils of the Salskaya Steppe. Autoref. Cand. Agric. Diss.]. Moscow, 1953. 15 p.

5. Kareva A.I. Dub i ego sputnik na svetlo-kashtanovykh pochvakh Stalinskoy oblasti. Avtoref.Diss.S-Kh.Nauk. [Oak and its Associates at the Light-Chestnut Soils of Stalingrad Oblast. Autoref.Cand.Agric.Diss.]. Saratov, 1955. 14 p.

6. Godnev E.D. O vozmozhnosti sozdaniya dubravnykh massivov v sukhikh stepyakh [On Possibility of Oak Groves Creation in Dry Steppe.]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry.]. 1983. No 8. P. 38-39.

7. Erusalimskiy V.I., Vlasenko A.A. Opyt vyrashchivaniya massivnykh dubrav v sukhoy stepi [Experience in Cultivation of massive Oak Groves in Dry Steppe.]. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 80-letiyu Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta agrolesomeliioratsii [Materials of the International Scientific Conference Dedicated to the 80th Anniversary of All-Russian Scientific Research Institute on Agro-Forest Melioration.]. Volgograd, 2011. P. 309-311.

8. Erusalimskiy V.I., Vlasenko A.A. Dolgovechnost semennogo (materinskogo) pokoleniya stepnykh dubrav [Long Life of Seed (Parent) Breed of Steppe Oak Groves.]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry.]. 2012. No 4. P. 32-33.

9. Vlasenko A.A. Rost, sostoyanie, dolgovechnost i vozobnovlenie duba chereschatogo v usloviyakh sukhoy stepi. Avtoref.Diss.S-Kh.Nauk. [Growth, Condition, Long Life and Regeneration of English Oak in Dry Steppe Conditions. Autoref. Cand. Agric. Diss.06.03.02]. Pushkino, 2012. 22 p.

Статья поступила в редакцию 23.04.13.

МАНАЕНКОВ Александр Сергеевич – доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом борьбы с деградацией агроландшафтов, ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агролесомелиорации» РАСХН (Российская Федерация, Волгоград). Область научных интересов – защитное лесоразведение, лесные культуры, рациональное природопользование, борьба с деградацией земель. Автор более 100 публикаций.

E-mail: manaenkov1@ya.ru

КОСТИН Максим Валериевич – кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела борьбы с деградацией агроландшафтов, ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агролесомелиорации» РАСХН (Российская Федерация, Волгоград). Область научных интересов – изучение ростовых процессов в степных древостоях, депонирование углерода лесными экосистемами. Автор 22 публикаций.

E-mail: mwkostin@yandex.ru

ШКУРИНСКИЙ Вячеслав Александрович – аспирант отдела борьбы с деградацией агроландшафтов, ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агролесомелиорации» РАСХН (Российская Федерация, Волгоград). Область научных интересов – повышение долговечности массивных насаждений дуба в степной зоне. Автор пяти публикаций.

E-mail: sshkurinskiy@gmail.com

MANAENKOV Alexander Sergeyevich – Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Head of the Department of Struggle Against Agro-Landscape Degradation at the State Scientific Institution «All-Russian Research Institute of Forest Amelioration» (Russian Federation, Volgograd). Research interest – protective afforestation, forest plantations, rational nature management, land erosion control. The author of more than 100 publications.

E-mail: manaenkov1@ya.ru

KOSTIN Maksim Valeryevich – Candidate of Agricultural Sciences, Researcher of the Department of Struggle Against Agro-Landscape Degradation at the State Scientific Institution «All-Russian Research Institute of Forest Amelioration» (Russian Federation, Volgograd). Research interest – growth processes of steppe stands, carbon sequestration in forest ecosystems. The author of 22 publications.

E-mail: mwkostin@yandex.ru

SHKURINSKIY Vyacheslav Alexandrovich – Postgraduate Student of Department of Struggle Against Agro-Landscape Degradation at the State Scientific Institution «All-Russian Research Institute of Forest Amelioration» (Russian Federation, Volgograd). Research interest – life improvement of oak plantations in the steppe zone.

E-mail: sshkurinskiy@gmail.com

A. S. Manaenkov, V. A. Shkurinskiy, M. V. Kostin

GROWTH PARTICULARITIES AND LONG LIFE OF «INDUSTRIAL OAKS» STANDS AT THE CLIMATIC SOIL TYPE OF DRY STEPPE DON REGION

Key words: dry steppe; plain territory near the water (plakors); planted Oaks outliers; condition, particular features of growth; life time increase.

Planted forest outliers are of high ecological and social and economic importance for almost all unforested regions in the South of Russia. They grow in the plain territory near the water (plakors). Most of the forests were planted in the 1950^s on the right bank of the Volga (Volgograd and Astrakhan oblasts), the Don and the Manych (Rostov oblast). Surrounded by ploughed fields, they carry out the functions of biological reserves, places of outdoor activities and the source of merchantable wood.

The purpose of the research is to make better some technologies in order to increase longevity, improve productivity and meliorative efficiency of Oak groves growing in the unforested zone of dry steppe.

Materials on forest management (2004–2005) were studied, an exploratory research of the 30–60-years stands, which occupy several thousand hectares, was carried out. Growth period, state of stand and the main soil characteristics were studied in detail on the 11 study plots, which were made in accordance with the standard methods.

It was found out that the state of all Oaks which were planted in the 1950^s seriously worsened in 6–7 years after their planting. A large share of top storey of trees dried out, there were many trees with dry tops.

To create vast plantations in heavy subsaline and chestnut and dark chestnut soil, English oak is the best species to plant. In case of traditional cultivation, life period of Oak groves is no more 40–60 years. The main reason for early death of artificial stands is forest environment destruction and deterioration of water schedule of mid-age stands. Pure stands are replaced with steppe plant formation, mixed stands are replaced with underbrush shrubs.

The stands which are considered to be more productive and durable are planted in low areas and in the shady slopes of upland hydrographic network. They are of better productive capacities due to additional soil moistening by redistributed precipitation. So, it is wise to use the landscape method while planting trees in the dry steppe. At that, Oak trees should be planted at the best ecotopes (best forest sites). The upper lands and slopes should be left apart in order to restore steppe vegetation as well as to create shrubby area.

Pure narrow-row closed stand are the best conditions for Oak cultivation. If the silvicultural activities are well organized, 150–450 m³/ha of medium quality trunk timber will be produced, productive forest hunting and recreational lands will be formed. Usage of complex schemes of mixture of species lead to need in increased attention and additional costs on thinnings. Oak needs in constant agrotechnical tendings if the plantation is pure and with wide inter-row spacing (5–6 m).

At the heavy idiomorphic soil of arid area it is possible to improve the quality and life period of plantations by means of elongation of the period of rapid growth, and consequently, by means of intensification of differentiation of young stands, contribution to optimization of their density and longer preservation of forest environment. In order to achieve the specified results, it is important to accumulate large stocks of buffer moisture in the soil, create pure dense plantations, carry out timely thinning, stimulate of underbrush formation.

The technology of creation of long-lived plantations at the plain territory near the water (plakors) in the arid area should include a 2–5-year clean cultivation, plantation establishment with 2,5–3,0 m rows (number of planting pots - 7–10 ths./ha), carrying out of agrotechnical tendings before closing of crop as well as thinnings every 2–3 year from the end of the juvenile period (up to 10–15 % to the number of trunks). For the purposes of stimulation of natural formation in the middle-aged plantations of uncompetitive soil-improving underbrush, for each 10–15 rows of Oak it is advised to plant 3–4 rows of acacia. In case of small contour planting, it is reasonable to plant acacia at the plantations periphery.

It is important to build dams in the stock strain to increase growth of the formed plantations. Nevertheless, dams building should not lead to their long-term flood during the warm season.

Usage of the landscape approach and the new technology of plantations creation shall make it possible to increase life of Oak outliers in dry steppe up to 65–70 years. In some cases, better results are expected.

УДК 630*62

В. А. Закамский, Х. Г. Мусин

ОЦЕНКА ЛЕСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ДЛЯ МАССОВОГО ОТДЫХА ПО СТАДИЯМ РЕКРЕАЦИОННОЙ ДИГРЕССИИ

Предложены уточненные для республик и областей Среднего Поволжья нормативы предельно допустимых рекреационных нагрузок, характеризующиеся особенностями лесорастительных условий по преобладающим породам и группами возраста. Последовательность определения стадий дигрессии корректируется с посещаемостью рекреационных объектов и критической численностью посетителей по приведенной модели.

Ключевые слова: рекреационная оценка; дигрессия; нормативы предельно допустимых нагрузок.

Введение. Лесная наука в области ресурсного лесопользования накопила большой опыт [1]. Рекреационные ресурсы лесов сегодня могут стремительно вовлекаться в сферу бизнеса, поскольку уже сложились все предпосылки для быстрого развития рекреационной деятельности. В то же время, методики оценки лесных территорий для целей массового отдыха сложны и громоздки [2]. Так, при проведении инженерно-экологических изысканий для подготовки проектной документации строительства, реконструкции объектов в г. Москве необходимо производить оценку по 29 показателям, каждый из которых должен получить свою оценку по четырёхбалльной шкале. Это может существенно усложнять оценку территорий для развития рекреационных систем.

В методологии рекреационных оценок насаждений сформировались несколько направлений:

- 1) оценка территории на ландшафтной основе;
- 2) комплексная оценка рекреационного потенциала лесов по привлекательности, комфортности и устойчивости;
- 3) оценка состояния насаждений по стадиям рекреационной дигрессии;
- 4) система экономической оценки рекреационных лесов [3].

В вопросе оценки на ландшафтной основе рекреационных функций и доступности территории относительно монолитные первичные единицы лесного ландшафта объединяются в более крупные сообщества. Ведущими признаками ландшафтов принимаются контрастность форм рельефа, мозаичность и типологический спектр лесов, их эстетические качества, наличие водных объектов и сельскохозяйственных территорий. При таком подходе сравнительная оценка рекреационных объектов возможна лишь при вычислении конкретного показателя занимаемой площади каждой категории, однако она будет приближенной величиной. В этом случае рассматриваемые категории определяются относительно и носят субъективный характер. И, самое главное, такая оценка не дает информации о рекреационной емкости ландшафта (количество посетителей, могущих находиться в благоприятных для отдыха условиях без ущерба для биологической устойчивости лесных массивов). Тем не менее, такая оценка используется и в процентном отношении характеризует комфортность отдыха в лесу. Она является основой для комплексной характеристики объектов массового отдыха, ее рекламой.

В большей степени, чем предыдущая,

распространена комплексная оценка рекреационного потенциала лесов по привлекательности, комфортности и устойчивости [2]. При трудоемком и дробном процессе оценки по предлагаемой шкале, с привлечением множества лесоводственно-таксационных и экологических характеристик (25 показателей) обращают внимание достаточно близкие значения получаемых коэффициентов рекреационной ценности насаждений [4], отличающихся по лесорастительным условиям. Однако отсутствует основной, характеризующий рекреационную дигрессию, то есть пригодность территории для отдыха по интенсивности рекреационной нагрузки.

Несмотря на то, что оценки по рассматриваемой первой и второй методикам на момент исследования отражают состояние рекреационного потенциала лесов, совпадение оценок наблюдается в 60–70 %, однако в целях объективности они требуют доработки.

Третье направление в методологии, по нашим результатам [5, 6] и данным исследователей [7], является наиболее актуальным, так как позволяет характеризовать пригодность лесных рекреационных ресурсов, устанавливать единовременные и предельные рекреационные нагрузки на лесные объекты в местах массового отдыха посетителей, оценивать степень воздействия рекреантов на лесные территории и выявлять состояние насаждений по стадиям рекреационной дигрессии.

Целью данной работы является разработка шкалы рекреационной оценки таксационных выделов с учетом предельно допустимых рекреационных нагрузок для лесных природных комплексов.

Для реализации этой цели были поставлены **задачи**: уточнение нормативов предельно допустимых рекреационных нагрузок для зоны южной тайги и хвойно-широколиственных лесов; обоснование поэтапно-дифференцированного принципа определения стадий рекреационной дигрессии; на основе фактического учета рекреантов смоделировать коэффициенты

для корректировки рекреационной емкости лесной территории по критической численности посетителей.

Объектами исследований являлись наиболее посещаемые лесные территории республик Марий Эл, Татарстана, Самарской и Нижегородской областей (водоохранные леса р. Волга, Кама и др., особо охраняемые природные территории национальных парков «Марий Чодра», «Нижняя Кама», «Самарская Лука», популярные места для отдыха в зеленых зонах пригородных лесов городов Казани, Йошкар-Олы, Нижнего Новгорода, Тольятти и др.).

В основу исследований лесных территорий для массового отдыха положен метод оценки рекреационных нагрузок, изложенный в отраслевом стандарте ОСТ 56-100-95 «Методы и единицы измерения рекреационных нагрузок». Оценка рекреационного потенциала проводилась на ландшафтной основе и по методике инженерно-экологических изысканий для подготовки проектной документации строительства, реконструкции объектов в г. Москве [2].

Результаты и обсуждение. По изучаемому направлению и результатам наших исследований рекомендуем применять для расчетов рекреационной емкости и нагрузки на территории республик Марий Эл, Татарстана, а также сопредельных областей уточненные «общесоюзные нормативы для таксации лесов» В.В. Загребва [7]. Используя разработанную шкалу «Величины предельно допустимых рекреационных нагрузок на 1 га лесного природного комплекса в различных лесорастительных условиях для хвойных, смешанных и лиственных лесов, чел/га при III стадии дигрессии», вычисляется оптимально возможное количество посетителей для мест массового отдыха, кварталов, отдельных частей объектов рекреации или объектов в целом без нарушения экологического равновесия. Полученные параметры будут основой для регулирования территориального размещения отдыхающих, позволят определить особен-

ности вида рекреационного лесопользования с учетом наличия дорог, а также классов рекреационной пригодности лесов.

По нормативным данным предельно допустимая рекреационная нагрузка на 1 га лесного фонда в зоне южной тайги и хвойно-широколиственных лесов устанавливается раздельно для трех возрастных категорий: молодняков, средневозрастных, приспевающих и старше древостоев. Определено, что расчет рекреационной емкости насаждений в функциональных зонах проводится по дренированности почв, с учетом преобладающей породы определенного возраста (табл. 1) и в соответствии с нормами и шкалами по стадиям дигрессии ОСТ 56-100-95 [8], трансформированной для Среднего Поволжья.

При определении стадий рекреационной дигрессии и оформлении протокола измерения рекреационной нагрузки ис-

пользуется поэтапно-дифференцированный принцип, который заключается в следующих особенностях использования общепринятых шкал и отраслевых стандартов:

- нами рекомендуется к использованию для разработки рекреационных проектов шкала ВО «Леспроект» [5] (табл. 2);

- для водоохранно-рекреационных лесов Республики Марий Эл и Татарстана следует применять шкалу В. М. Ивонина [9], которая позволяет выявлять потерю лесными насаждениями защитных функций (табл. 3);

- для кустарниковых и травянистых фитоценозов, произрастающих на открытых ландшафтах, следует использовать классификацию стадий по ВО «Леспроект» (табл. 4);

- работы на объекте рекреации в местах массового отдыха по определению стадий дигрессии выполняются в соответствии с ОСТ 56-100-95.

Таблица 1

Величины предельно допустимых рекреационных нагрузок на 1 га лесного природного комплекса в различных лесорастительных условиях для хвойных, смешанных и лиственных лесов, чел/га при III стадии дигрессии

Протяженность дорожной сети на квартал лесного фонда, км	Преобладающие породы							
	сосна, лиственница	ель, пихта	береза	липа, вяз	дуб, клен остролиственный	осина, ива, тополь	ольха серая	ольха черная
Молодняки								
До 8	0,99/0,63	0,63/0,54	1,26/0,72	1,35/-	1,08/-	1,17/-	0,90/0,63	-/0,54
9-16	1,17/0,72	0,72/0,63	1,53/0,81	1,62/-	1,26/-	1,35/-	1,08/0,72	-/0,63
17-26	1,35/0,81	0,81/0,72	1,71/0,90	1,80/-	1,44/-	1,62/-	1,26/0,81	-/0,72
Более 26	1,62/0,99	0,99/0,81	1,98/1,08	2,16/-	1,71/-	1,89/-	1,44/0,99	-/0,81
Средневозрастные и приспевающие насаждения								
До 8	1,35/0,81	0,90/0,72	1,62/0,90	1,71/-	1,44/-	1,53/-	1,26/0,72	-/0,72
9-16	1,80/1,08	1,26/0,90	2,43/1,17	2,34/-	1,98/-	2,07/-	1,71/1,08	-/0,90
17-26	1,98/1,17	1,35/0,99	2,43/1,4	2,52/-	2,16/-	2,25/-	1,89/1,17	-/0,99
Более 26	2,16/1,26	1,44/1,08	2,25/1,35	2,70/-	2,34/-	2,43/-	1,98/1,26	-/1,08
Спелые и перестойные насаждения								
До 8	1,35/0,72	0,81/0,63	1,44/0,81	1,53/-	1,26/-	1,35/-	1,08/0,72	-/0,63
9-16	1,62/0,90	1,08/0,81	1,98/1,08	2,07/-	1,71/-	1,80/-	1,44/0,90	-/0,81
17-26	1,71/0,99	1,17/0,90	2,16/1,17	2,25/-	1,89/-	1,98/-	1,62/0,99	-/0,90
Более 26	1,89/1,08	1,4/0,99	2,34/1,26	2,43/-	1,98/-	2,16/-	1,71/1,08	-/0,99

Примечания: Над чертой – в дренированных; под чертой – избыточно-увлажненных лесорастительных условиях. Предельно допустимые рекреационные нагрузки: для насаждений с преобладанием сосны в типах лесорастительных условий $A_1 = 0,36$, $A_2 = 0,72$ чел/га; для насаждений с преобладанием березы в типах лесорастительных условий $A_2 = 0,81$ чел/га.

Таблица 2

Классификация стадий рекреационной дигрессии лесов

Стадии деградации	Признаки дигрессии
1	Признаков разрушения лесной среды нет, рост и развитие деревьев и кустарников нормальное, их механические повреждения отсутствуют, подрост и подлесок жизнеспособные, моховой и травянистый покров характерен для типа леса, подстилка не нарушена
2	Незначительные изменения лесной среды: ухудшение условий роста и развития деревьев и кустарников, их повреждения, подрост разновозрастный и жизнеспособный – до 20 % поврежденных и усохших экземпляров. Мхом покрыто до 20 % площади, травой – до 10 % (1/10 часть – луговые травы), почвы и подстилка слегка уплотнены; отдельные корни – обнажены, вытоптано менее 5 % площади
3	Значительные нарушения лесной среды: ослабленный рост деревьев, до 10 % стволов механически повреждены, одновозрастный подрост и подлесок средней густоты – 21-50 % поврежденных и усохших экземпляров, мхи только у стволов деревьев с покрытием 5–10 % площади, травы – на 70–80 % площади (2/10 – луговые травы), появляются сорняки, подстилка и почва значительно уплотнены, много обнаженных корней, вытоптано от 6 до 40 % площади
4	Сильные нарушения лесной среды: древостой куртинного типа, деревья значительно угнетены, 11–20 % стволов механически повреждены, подрост и подлесок жизнеспособны только в куртинах – повреждение более 50 % экземпляров, мхов и подстилки нет, травы на 40–60 % площади
5	Лесная среда деградирована: древостой изрежен, куртинного типа, деревья сильно ослаблены или усыхают, более 20 % стволов механически повреждены, проективное покрытие травянистого покрова до 20 % (3/4 луговые травы и сорняки), корни большинства деревьев обнажены и повреждены, почва вытоптана до минерализованной части на площади более 60 %

Таблица 3

Классификация стадий рекреационной дигрессии защитных лесных насаждений

Класс дигрессий	Признаки дигрессии
1	Лесные насаждения обладают высокой почвозащитной и водоохранной ролью, без заметных рекреационных изменений
2	Лесные насаждения обладают высокой почвозащитной и водоохранной ролью, но с признаками рекреационных разрушений: лесная подстилка уплотнена, единичные тропинки и стволы с механическими повреждениями, отдельные пни деревьев, вырубленных с рекреационными целями
3	Лесные насаждения обладают пониженной почвозащитной и водоохранной ролью, развита тропиновая сеть на фоне тонкого слоя подстилки (на пикниковых площадках – подстилки нет), единичные кострища, до 3% стволов механически повреждены, значительное количество пней деревьев, вырубленных с рекреационной целью
4	Лесные насаждения лишены своих почвозащитных и водоохранных функций, пятна подстилки только вокруг некоторых стволов, много кострищ, механически поврежденных стволов и пней деревьев, вырубленных в рекреационных целях
5	Лесные насаждения являются ареной эрозионных процессов и источниками загрязнения водных объектов, подстилки нет, многочисленные кострища, механически поврежденные стволы и пни, усиленная эрозия вдоль транспортной колеи

Таблица 4

Классификация стадий рекреационной дигрессии кустарниковых и травянистых ценозов

Класс дигрессии	Признаки дигрессии ценоза	
	кустарникового	травянистого
1	Кустарники здоровы (возраст до 30 лет), не омоложены, сухих ветвей нет или встречаются единично	Травянистый покров не нарушен, представлен травами, типичными для данного элемента ситуации
2	Омоложденные кустарники в хорошем состоянии, сухих ветвей нет или встречаются единично	Травянистый покров частично вытоптан (до 5 %), появляются сорные или не характерные виды для данного элемента ситуации
3	Кустарники старше 30 лет, II и III генерации в хорошем состоянии, сухих ветвей нет	Травянистый покров вытоптан на 6–10 %, сорные или не характерные виды составляют 11–20 %, почва уплотнена
4	Старовозрастные, распадающиеся кустарники с большим количеством сухих ветвей	Травянистый покров вытоптан до 41–60 %, сорные и не характерные виды составляют 21–50 %, почва сильно уплотнена, имеется мусор
5	Кустарники в состоянии полного распада (сохранилась слабая поросль на старых корнях)	Травянистый покров вытоптан на 51–100 % или представлен сорными и не характерными видами, почва очень сильно уплотнена, много мусора

На первом этапе используется трансектный метод, который предназначен для выделения стадий рекреационной дигрессии в зависимости отношения площади, вытоптанной до минерального горизонта поверхности напочвенного покрова, к общей площади участка согласно показателям приложения А ОСТ 56-100-95 (табл. 5).

Таблица 5

Выделение стадий рекреационной дигрессии по доле вытоптанной поверхности

Стадии дигрессии	Вытопанная территория, %
Первая	до 1,0
Вторая	от 1,1 до 5,0
Третья	от 5,1 до 10,0
Четвертая	от 10,1 до 25,0
Пятая	более 25

Метод основан на измерении протяженности вытоптанной поверхности на ходовых линиях, равномерно охватывающих обследуемый участок, и определении вышеуказанного показателя через отношение протяженности вытоптанной до минерализованного грунта поверхности к общей длине ходовых линий. Минимальная протяженность ходовых линий при

требуемой погрешности 10 % и доверительной вероятности 0,95 должна составлять не менее 500 м на каждый гектар обследуемой площади.

На втором этапе, после составления план-схемы размещения природных комплексов по стадиям рекреационной дигрессии, выбирают репрезентативные участки и проводят закладку пробных площадей в типичных по таксационной характеристике и видам лесной рекреации таксационных выделах.

В выбранных участках в соответствии с ОСТ 56-69-83 должны быть заложены в натуре лесоустроительные пробные площади тренировочного вида и на каждую заведены карточки таксационной характеристики, которые дополняются сведениями о виде лесной рекреации и номере стадии рекреационной дигрессии.

Результаты обработки представляются в форме протокола Приложения В ОСТ 56-100-95 (табл. 6). Полученные данные по всем пробным площадям, стадиям рекреационной дигрессии и видам лесной рекреации анализируются для составления отчета (табл. 7), например, для лесопарковой зоны г. Йошкар-Олы.

Таблица 6

Протокол измерения рекреационной нагрузки на пробной площади № Форма 1 Краткая характеристика пробной площади (лесопарковая часть зеленой зоны г. Йошкар-Олы)

Наименование показателя	Характеристика показателя
Местонахождение	Кв 11, выдел 11
Тип леса	Сосняк, брусничник
Тип лесорастительных условий	A ₃
Состав древостоя	10С
Возраст древостоя, лет	85
Класс бонитета	II
Полнота	0,7
Запас, м ³	230
Состав, густота подроста	10С, 500шт.га
Состав, густота подлеска	Ед. ракитник, рябина
Фоновые виды и проективное покрытие живым напочвенным покровом	Брусника, зеленые мхи и др., 0,5
Номер стадии рекреационной дигрессии	третья
Размер пробной площади, га	0,5
Вид лесной рекреации	Лесной туризм

Таблица 7

**Сводная ведомость распределения площадей насаждений по стадиям дигрессии (га / %)
(лесопарковая часть зеленой зоны г. Йошкар-Олы)**

№ кв./ выд.	Используемая S выд., га	I	II	III	IV	V	Итого
11/11	20			20/57			57
	10				10/28,6		28,6
	5					5/14,4	14,4
итого	35	0	0	57	28,6	14,4	100

Все предложенные шкалы позволяют выявить стадии рекреационной дигрессии и представить дополнительную информацию о состоянии лесного ландшафта. Во всех случаях при третьей и выше стадиях дигрессии полученные данные по нагрузке будут базой для назначения обоснованных лесохозяйственных и природоохранных мероприятий.

Разработанный методически последовательный подход к определению единовременной и предельной нагрузок на лесные объекты массового отдыха позволяет дифференцированно устанавливать количество посетителей по видам

лесной рекреации [10,11].

Для корректировки и учета наличия деградированной территории применяют коэффициенты пересчета рекреационной емкости по стадиям дигрессии ОСТ 56-100-95 и данных исследователей. Показатели составляют для I стадии – 0,99; II стадии – 0,95; III стадии – 0,90; IV стадии – 0,75; V стадии – 0,5, что согласуется с посещаемостью рекреационных объектов и критической численностью посетителей по приведенной модели ($Y=50,94+52,78 \cdot X+20,09 \cdot X^2$) [12].

Конечные результаты расчета представляются в ведомости (табл. 8).

Таблица 8

**Расчет рекреационной емкости и рекреационной нагрузки
(лесопарковая часть зеленой зоны г. Йошкар-Олы)**

№№ кв./выд.	Исполь-зуемая S выд., га	Тип леса	ТЛУ	Преобл. порода/возраст	Нормы*			РЕ* выделов		Стадии дигрессии	РЕ* с учетом стадии дигрессии	
					S, га на 1 УП*	ЕМД* нагруз. чел./га	ПН* с учетом П и А	ЕМД* чел.	ПРЕ*с учетом П и А		ЕМД*	ПРЕ*
11/11	20	Сбр	A ₂	C/85	1,2	2,0	1,35	40	27	3	36	24,3
	10							20	13,5	4	15	10,1
	5							10	6,75	5	5	3,4
итого	35							70	47		56	38

Примечания: ЕМД – единовременная максимально допустимая емкость; РЕ – рекреационная емкость; ПРЕ – предельная рекреационная емкость с учетом преобладающей породы (П) и возраста (А); S, га на 1 УП – норма площади на одного условного посетителя.

В результате расчетов определяется необходимая величина снижения количества посетителей из-за наличия вытапываемой и деградированной части территории [13, 14].

Выводы. Использование уточненных нормативов предельно допустимых рекреационных нагрузок позволит учитывать особенности эксплуатации рекреационных лесов для зоны южной тайги и хвойно-широколиственных лесов.

Поэтапно-дифференцированный принцип определения стадий рекреационной

дигрессии характеризуется гибкостью, что позволит детализировать нагрузки на лесные территории по конкретным лесорастительным условиям.

На основе разработанной модели предложены коэффициенты для корректировки рекреационной емкости лесной территории по критической численности посетителей. Это также поможет решению вопроса о своевременном реагировании планированием и проведением природоохранных работ.

Список литературы

1. Гурский, А.А. Принципы совершенствования оценки лесных ресурсов, ведения хозяйства и лесопользования в Казахстане: Автореф. дисс. ... д-ра с.-х. наук / А.А. Гурский. – Екатеринбург, 1977. – 36 с.
2. Инструкция по проведению инженерно-экологических изысканий для подготовки проектной документации строительства, реконструкции объектов в г. Москве. – М., 2008. – 112 с.
3. Бузыкин, А.И. Возможности повышения продуктивности лесов / А.И. Бузыкин // Факторы продуктивности леса. – Новосибирск: Наука, Сиб. Отд-е, 1989. – С. 110-129.
4. Нафикова, И.Р. Оценка рекреационного потенциала Башкирского предуралья: Автореф.

References

1. Gurskiy A.A. Printsipy sovershenstvovaniya otsenki lesnykh resursov vedeniya khozyaystva i lesopolzovaniya v Kazakhstane. Avtoref. Diss. Dr. S.-Kh. Nauk [Principles of Assessment Improvement of Forest Resources, Forest Management and Forest Use in Kazakhstan. Dr. Agr. Sci. Autoref.]. Ekaterinburg, 1977. 36.
2. Instruksiya po provedeniu inzhenerno-ekologicheskikh izyskaniy dlya podgotovki proektnoy dokumentatsii stroitelstva, rekonstruktsii obektov v g. Moskve [Instruction on Engineering and Ecological Research for Preparation of Project Documentation on Construction and Reconstruction of Moscow Buildings.]. Moscow, 2008. 112 p.
3. Buzykin A.I. Vozmozhnosti povysheniya produktivnosti lesov [Possible Ways of Forests Productivity Improvement]. Faktory produktivnosti lesa [Factors of Forest Productivity.]. Novosibirsk: Nauka Sib. Div. Publ., 1989. P. 110-129.
4. Nafikova I.R. Otsenka rekreatsionnogo potent-siala Bashkirskogo preduralya. Avtoref. Kand. S.-

дисс. ...канд. с.-х. наук / И.П. Нафикова. – Уфа, 2011. – 19с.

5. Закамский, В.А. Лесоводственно-рекреационная оценка устойчивости лесных фитоценозов при массовой рекреации в водоохранный рекреационных лесах Марийского Заволжья / В.А. Закамский, А.А. Крылова, Н.А. Власова // Лесной вестник. – 2007. – № 1. – С. 17-22.

6. Закамский, В.А. Основные этапы лесоводственно-рекреационной оценки лесной территории на экологических маршрутах Марийского Заволжья / В.А. Закамский, Т.А. Конюхова, Л.А. Сахбиева // Лесной вестник. – 2010. – № 1. – С. 48-52.

7. Общесоюзные нормативы для таксации лесов / В.В. Загребев, В.И. Сухих, В.И. Швиденко и др. – М.: Колос, 1992. – 495 с.

8. ОСТ 56-100-95. Стандарт отрасли. Методы и единицы измерения рекреационных нагрузок на лесные природные комплексы. – М., 1995. – 12 с.

9. Ивонин, В.М. Лесная рекреология: учебное пособие для вузов / В.М. Ивонин, В.Е. Авдонин, Н.Д. Пеньковский. – Новочеркасск: НГМА, 1999. – 146 с.

10. Закамский, В. А. Рекреационное лесоводство: практикум / В. А. Закамский, Н. В. Андреев. – Йошкар-Ола.: МарГТУ, 2009. – 140 с.

11. Закамский, В.А. Рекреационное лесопользование. Часть I. Экологические основы / В.А. Закамский. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2012. – 246 с.

12. Аглиуллин, Ф.В. Состояние и рекреационная емкость прибрежных лесов, озер Национального парка «Марий Чодра» / Ф.В. Аглиуллин, В.А. Закамский, С.А. Денисов. Марийск. гос. техн. ун-т. – Йошкар-Ола, 2000. – 62 с. – Деп. в ВНИИЦлесресурс 27.03.00; № 975 - ЛХ 00.

13. Закамский, В.А. Лесоводственно-рекреационная оценка воздействия рекреации на лесные экосистемы в местах массового отдыха вдоль реки Волга Марийского Заволжья (г. Волжск – плотина Чебоксарской ГЭС / В.А. Закамский, А.В. Кусакин, А.А. Крылова и др. // Марийск. гос. техн. ун-т. – Йошкар-Ола, 2003. – 189 с.: ил. – Библиогр.: 45 назв. – Рус. – Деп. в ВНИИТИ 10.07.2003, № 1339-В 2003.

Kh.Nauk [Assessment of Recreational Potential of the Cis-Ural Region (the Republic of Bashkiria). Cand.Agr.Sci. Autoref.]. Ufa, 2011. 19 p.

5. Zakamskiy V.A., Krylova A.A., Vlasova N.A. Lesovodstvenno-rekreatsionnaya otsenka ustoychivosti lesnykh fitotsenozov pri massovoy rekreatsii v vodookhranno-rekreatsionnykh lesakh Mariyskogo Zavolzya [Recreational Assessment of Forest Plant Formation Sustainability in the Terms of Active Recreation in the Riverian Forests of the Republic of Mari El]. Lesnoy vestnik [Lesnik of Forestry.]. 2007. No 1. P. 17-22.

6. Zakamskiy V.A., Konukhova T.A., Sakhibieva L.A. Osnovnye etapy lesovodstvenno-rekreatsionnoy otsenki lesnoy territorii na ekologicheskikh marshrutakh Mariyskogo Zavolzya [The Main Stages of Recreational Assessment of Forests on the Ecological Routes of Mari Forests.]. Lesnoy vestnik [Lesnik of Forestry.]. 2010. No 1. P. 48-52.

7. Zagreev V.V., Sukhikh V.I., Shvidenko V.I. Obshchiesouznye normativy dlya taksatsii lesov [All-Union Standards for Forest Taxation]. Moscow: Kolos, 1992. 495 p.

8. OST 56-100-95. Standard otrasli. Metody i edinitsi izmereniya rekreatsionnykh nagruzok na lesnye prirodnye komplekсы [All-Union Standard 56-100-95. Industry Standard. Methods and Units of Measurement of Recreational Loads on Forest Complexes]. Moscow, 1995. 12 p.

9. Ivonin V.M., Avdonin V.E., Penkovskiy N.D. Lesnaya rekreologiya: uchebnoe posobie dlya vuzov [Forest Recreology: Study Guide for Higher institutions.]. Novocherkassk: NGMA, 1999. 146 p.

10. Zakamskiy V.A., Andreev N.V. Rekreatsionnoe lesovodstvo: praktikum [Recreational Forestry: Training course.]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2009. 140 p.

11. Zakamskiy V.A. Rekreatsionnoe lesopolzovanie. Chast I. Ekologicheskie osnovy [Recreational Forest Use. Part I. Ecological Fundamentals]. Yoshkar-Ola: Mari State Technical University, 2012. 246 p.

12. Agliullin F.V., Zakamskiy V.A., Denisov S.A. Sostoyanie i rekreatsionnaya emkost pribrezhnykh lesov, ozer Natsionalnogo parka «Mariy Chodra» [Conditions and Recreational Capacity of Riparian Forests and Lakes of the «Mari Chodra» National Park.]. Yoshkar-Ola: Mari State Technical University, 2000. 62 p. Dep. v VNIITSLESRESURS 27.03.00; № 975 - ЛХ 00.

13. Zakamskiy V.A., Kusakin A.V., Krylova A.A., Konukhiva T.A., Zakamskiy S.V. Lesovodstvenno-rekreatsionnaya otsenka vozdeystviya rekreatsii na lesnye ekosistemy v mestakh massovogo otdykha vdol reki Volga Mariyskogo Zavolzya (g. Volzhsk – plotina Cheboksarskoy GES), Ill.Bibliogr. – 45 nazv. [Forest Recreational Assessment of Recreations Impact on Forest Ecosystems in Tourist Areas Near the Volga River in the Mari Republic (Volzhsk – Cheboksarskaya Dam). Illustrated, Reference List – 45

14. *Закамский, В.А.* Лесоводственно-рекреационная оценка воздействия рекреации на лесные экосистемы в местах массового отдыха вдоль реки Волга Марийского Заволжья (Ч.2.Плотина Чебоксарской ГЭС – п.Юрино) / В.А. Закамский, А.В. Кусакин, А.А. Крылова и др. // Марийск. гос. техн. ун-т. – Йошкар-Ола, 2005. – 185 с.: ил. – Библиогр.: 84 назв. – Рус. – Деп. в ВИНТИ 14.07.05, № 1030-В 2005.

Sources.]. Yoshkar-Ola: Mari State Technical University, 2003, 189 p. Dep. v VINITI 10.07.2003, No 1339-B 2003.

14. *Zakamskiy V.A., Kusakin A.V., Krylova A.A., Konukhiva T.A., Zakamskiy S.V.* Lesovodstvenno-rekreatsionnaya otsenka vozdeystviya rekreatsii na lesnye ekosistemy v mestakh massovogo otdykha v dol reki Volga Mariyskogo Zavolzya. (Ch.2 Plotina Cheboksarskoy GES – p.Yurino) Ill.Bibliogr. – 84 nazv. [Forest Recreational Assessment of Recreations Impact on Forest Ecosystems in Tourist Areas Near the Volga River in the Mari Republic (Cheboksarskaya Dam – Yurino Village). Illustrated, Reference list – 84 Sources.]. Yoshkar-Ola: Mari State Technical University, 2005, 185 p. Dep. v VINITI 14.07.2003, No 1030-B 2005.

Статья поступила в редакцию 21.12.12.

ЗАКАМСКИЙ Владимир Александрович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства, Поволжский государственный технологический университет (Российская Федерация, Йошкар-Ола). Область научных интересов – рекреационное лесоводство и лесопользование. Автор более 140 публикаций.

E-mail: ZakamskiyVA@volgatech.net

МУСИН Харис Гайнутдинович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, первый заместитель министра лесного хозяйства Республики Татарстан (Российская Федерация, Казань). Область научных интересов – рубки и лесовосстановление, рекреационное использование лесов. Автор более 30 публикаций.

E-mail: Haris.Musin@tatar.ru

ZAKAMSKIY Vladimir Alexandrovich – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at the Chair of Forestry, Volga State University of Technology (Russian Federation, Yoshkar-Ola). Research interests – recreational forestry, forest exploitation. The author of more than 140 publications.

E-mail: ZakamskiyVA@volgatech.net

MUSIN Kharis Gaynutdinovich – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, First Vice-Minister of Forestry of the Republic of Tatarstan (Russian Federation, Kazan). Research interests – fellings and forest restoration, forest exploitation for recreation. The author of more than 30 publications.

E-mail: Haris.Musin@tatar.ru

V. A. Zakamskiy, Kh. G. Musin

FORESTS EVALUATION FOR TOURISM BY RECREATIONAL DIGRESSION STAGES

Key words: recreational assessment; digression; standards of maximum permissible loads.

Nowadays forest recreational resources may be an important business sphere as there are many prerequisites for it. At the same time, the methods of forests assessment for recreational purposes are rather complicated. There are several trends in the methods of recreational assessment of plantations: territories assessment based on the landscape type, complex assessment of forests recreational potential in accordance with their beauty, comfort and sustainability, plantations state assessment in stages of recreational digression and system of economic assessment of recreational forests.

The purpose of the research is to develop a scale of recreational assessment of stratum with due account for maximum permissible recreational loads for forest complexes. In the course of the research some standards of permissible recreational loads for south taiga zone and the zone of coniferous and broad-leaved forests were specified. A stage-differentiated principle of recreational digression stage was grounded. The coefficients for forest recreation capacity correcting in accordance with critical number of forest visitors were simulated on the base of actual number of tourists.

The objects of the research are the most visited forests in the Republic of Mari El, the Republic of Tatarstan, Samara and Nizhny Novgorod oblasts, which are mainly represented by riverian forests and nature reserves.

In the course of recreational digression staging definition and formalization of recreational load measure, the stage-differentiated principle is used. The principle helps to detalize forest loads in accordance with certain forest sites and to calculate number of tourists in different types of forest recreational areas on a case-by-case basis. Under the recreational projects development it includes usage of «Lesproekt» scales: «Stages Classification of Recreational Forests Digression», «Stages Classification of Recreational Digression of Protective Stands» (the classification allows to reveal loss of protective functions of forest stands in water protection and recreational forests of the Republic of Mari El and the Republic of Tatarstan), «Stages Classification of Recreational Digression of Shrub and Grass Cenosis» growing in the open landscape. All the scales let us reveal the stages of recreational regression and get an additional information about forests condition. In all the cases (particularly at the third, forth, etc. stages of regression) the obtained data on recreational load will be the basis for grounding of forestry and nature protection measures.

In order to correct recreational capacity with an account of degraded territories, the recalculation coefficients in accordance with digression stages (0.99 for the I stage; 0.95 for the II stage; 0.90 for the III stage; 0.75 for the IV; 0.5 for the V stage) were applied. Coefficients are accorded with attendance of recreational zones and number of tourists. Upon the calculations, the necessary reduction in tourists related to trampling and degradation of forests make it possible to carry out the environment-oriented activities in a proper time.

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

УДК 630*:658.011.54

Д. Ю. Дручинин, О. Р. Дорняк, М. В. Драпалюк

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВЫКОПКИ САЖЕНЦЕВ С КОМОМ ПОЧВЫ

Разработана математическая модель рабочего процесса машины для выкопки саженцев с комом почвы. На основе математического моделирования проведены теоретические исследования процесса выкопки саженцев с комом почвы. Представлены результаты компьютерных экспериментов, позволяющие оценить силовые показатели исследуемого процесса.

Ключевые слова: выкопчная машина; саженцы с комом почвы; теоретические исследования; математическая модель; выкопка саженцев.

Введение. В настоящее время в лесокультурном производстве, лесовосстановительных работах и при озеленении территорий все большее применение получают крупномерные саженцы, которые пересаживаются с комом почвы. Данный вид посадочного материала имеет ряд преимуществ по сравнению с обычными видами сеянцев и саженцев [1–3]. Ранее авторами для механизации процесса выкопки и пересадки крупномерных саженцев с комом почвы были изучены имеющиеся исследования в данном вопросе, предложена конструкция специального агрегата – выкопчной машины, а также разработана математическая модель взаимодействия рабочего органа выкопчной машины с почвой и корнями саженцев [4–8].

Математическая модель взаимодействия рабочего органа с почвой и корнями саженцев позволяет провести теоретические исследования процесса выкопки саженцев с комом почвы и в дальнейшем определить оптимальные проектные параметры рабочего органа выкопчной машины.

Целью исследования является изучение процесса выкопки саженцев с комом почвы на основе составленной математической модели исследуемого процесса путем проведения компьютерных экспериментов.

Результаты исследования. В основе модели лежит дифференциальное уравнение движения основного элемента выкопчной машины – ее рабочего органа в виде двуплечего рычага вокруг неподвижной оси OY (1)

$$I_{oy}\ddot{\varphi} = M_{oy}(\vec{P}_{гц}) + M_{oy}(\vec{G}_p) - \tilde{M}_{oy}(P_{comp}), \quad (1)$$

где I_{oy} – момент инерции рычага относительно оси OY , кг·м²; φ – угол поворота, град.; $\vec{P}_{гц}$ – сила давления, создаваемая в гидроцилиндрах, Па; $\vec{G}_p$ – сила тяжести рычага, Н; $\tilde{M}_{oy}(P_{comp})$ – суммарный момент сил сопротивления движению рабочего органа относительно оси OY , Н·м.

В расширенном виде уравнение (1) имеет вид

$$\begin{aligned}
I_{oy}\ddot{\varphi} = & ((O\tilde{B}\cos(\varphi + \varphi_{\tilde{B}})) \cdot (P_{cy}\cos\varphi_{cy}) - (O\tilde{B}\sin(\varphi + \varphi_{\tilde{B}})) \cdot (P_{cy}\sin\varphi_{cy})) + (m_p \cdot g \cdot O\tilde{C}\cos(\varphi + \varphi_{\tilde{C}})) - \\
& - 2\sum_{i=1}^n (fG_{\Pi 2} \cdot \pi \cdot |O_3M_i|^2 \cdot \frac{\Delta\alpha_{\Pi_i}}{2\pi} |OC_i|) - 4\sum_{i=1}^n z_i d_k \sigma_p \delta_p l_p \cdot (-\delta_p \operatorname{ctg}\beta) \cdot l_p \cos\alpha_1 \sin\alpha_p - \\
& - \delta_p \cos\alpha_p (l_p \sin\alpha_1) - x_i d_k \sigma_p \delta_p l_p \cdot (-\delta_p \sin\alpha) (l_p \sin\alpha_1) + ((l_p \cos\alpha_1 \cos\alpha_p) \delta_p \operatorname{ctg}\beta) - \\
& - \sum_{i=1}^n (f + f') \cdot \sigma_K \cdot (\delta_K + 2\delta'_K) \cdot \rho_i \cdot \Delta\alpha_{\Pi_i} \cdot \sin(\varphi + \alpha_{\Pi_i} + \frac{\Delta\alpha_{\Pi_i}}{2} + \frac{\pi}{2}).
\end{aligned} \quad (2)$$

Для решения данного дифференциального уравнения была составлена программа «Моделирование движения рабочего органа для выкопки саженцев с комом почвы» на языке программирования «Matlab» и произведены расчеты на ЭВМ [9]. Компьютерный эксперимент с моделью заключается в имитации процесса выкопки саженца с комом почвы выкопчной машиной. Рабочий орган движется по полуокружности с постоянной скоростью в почве, армированной корнями растений. При этом часть элементов лезвий осуществляют срез корня саженца, а другая часть участвует в процессе резания почвы. При этом фиксируются зависимости суммарного значения момента всех внешних сил, действующих на рабочий орган машины относительно оси OY M_{oy} и других моментов, создаваемых различными силами.

Суммарное значение момента внешних сил M_{oy} , действующих на рабочий ор-

ган, относительно оси OY находилось по следующей формуле

$$M_{oy} = M_{d.c.} - M_{c.c.}, \quad (3)$$

где $M_{d.c.}$ – момент движущих сил, Н·м; $M_{c.c.}$ – момент сил сопротивления рабочему процессу, Н·м.

На рис. 1 представлена схема математического моделирования взаимодействия рабочего органа выкопчной машины с почвой и корнями саженцев. Машина содержит раму с несущими брусками 1 и устройством крепления к трактору 2, вертикальные стойки 3 с закрепленным на них рабочим органом в виде двух треугольников 4, полуковша 5 в задней его части, двух гидроцилиндров 6. Рабочий орган выполнен в виде двух треугольников, направленных острыми углами в сторону выкапываемого саженца, в задней части которого оборудован полуковш. Два гидроцилиндра поворачивают рабочий орган по полуокружности, тем самым вырезая саженец с комом почвы.

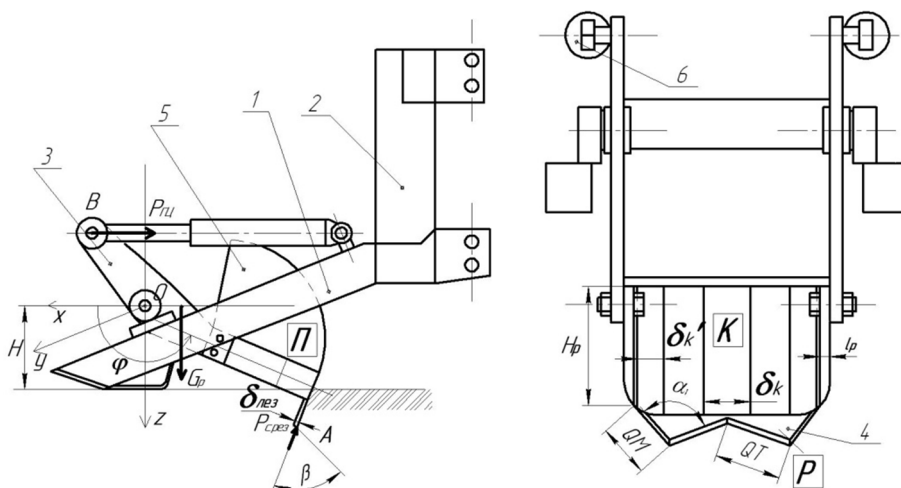


Рис. 1. Расчетная схема математического моделирования взаимодействия рабочего органа выкопчной машины с почвой и корнями саженцев

Все параметры исследуемого процесса можно разделить на следующие группы:

- параметры рабочего органа выкопчной машины: начальный угол вхождения в почву φ_0 ; момент инерции рабочего органа относительно оси OY I_{oy} ; расстояние от оси вращения рабочего органа до поверхности H ; толщина вертикальных стоек рабочего органа l_{Π} ; высота профиля рабочего органа H_p ; толщина боковых стенок полуковша δ_{Π} ; угол бокового сектора полуковша α_{Π} ; ширина центральной полосы полуковша δ_K ; ширина боковых полос полуковша δ_K' ; длина дуги боковых стенок полуковша L_K ; ширина полуковша S_{Π} ; толщина лезвия ножей рабочего органа $\delta_{лез}$; параметр лезвия QM ; параметр лезвия QT ; углы при вершине лезвий α_1 и α_2 ; угол заточки лезвия ножей рабочего органа β ;

- параметры корней саженцев: количество корней в зонах А, В и С; диаметр корней в зонах А, В, и С - d ; удельное сопротивление резанию корня $\sigma_{Ркор}$;

- параметры почвы: удельное сопротивление пуансона в грунт σ_{Π} ; удельное сопротивление движению полуковша σ_K ; удельное сопротивление резанию грунта лезвиями $\sigma_{Реп}$; плотность почвы ρ ; коэффициент трения стали о грунт f .

Технологические параметры: давление в гидроцилиндрах выкопчной машины $P_{гц}$.

Каждый из параметров F_i по очереди изменяли в некотором интервале $[F_{i \min}, F_{i \max}]$ с некоторым шагом ΔF_i , в то время как остальные параметры оставались неизменными и имели так называемые «базовые» значения [10]. Для каждого получающегося набора параметров проводили отдельный компьютерный эксперимент. Каждый из параметров варьировали не менее чем по пяти уровням, чтобы четко определить вид получающейся зависимости [11]. Данный подход позволил получить зависимости от отдельных пара-

метров выходных характеристик, в первую очередь $M_{oy}(F_i)$. На этапе систематических исследований выполнено 13 серий компьютерных экспериментов. В рамках каждой серии проведено от трех до шести экспериментов. Для удобства изложения все серии компьютерных экспериментов сгруппированы ниже так, чтобы установить, каково влияние на выходные характеристики:

- параметров рабочего органа выкопчной машины (изменению подвергали факторы H , l_{Π} , H_p , δ_{Π} , δ_K , δ_K' , $\delta_{лез}$, параметр лезвия QM , параметр лезвия QT ; α_1 и α_2 , β);

- параметров корней саженцев (количество корней в зонах А, В и С; диаметр корней в зонах А, В, и С - d ; $\sigma_{Ркор}$ в зависимости от породы саженца);

- параметров почвы ($\sigma_{Реп}$).

Расстояние от оси вращения рабочего органа до поверхности почвы H – одна из важных характеристик рабочего органа выкопчной машины, влияющая на конструкцию и габариты исследуемого агрегата, поэтому в первой серии компьютерных экспериментов изучили влияние данного параметра на момент всех сил относительно оси OY . При этом H варьировали на уровнях 0,5...0,7 м.

В процессе исследований обнаружено, что с увеличением расстояния от оси вращения рабочего органа до поверхности почвы суммарный момент всех внешних сил относительно оси OY уменьшается (рис. 2).

С увеличением высоты профиля рабочего органа линейно увеличивается и суммарный момент всех внешних сил относительно оси OY (рис. 3). Это можно объяснить увеличением длины «рычага» рабочего органа.

С увеличением ширины центральной полосы полуковша наблюдается увеличение моментов сил сопротивлений рабочему процессу (рис. 4), поэтому суммарное значение момента всех внешних сил относительно оси OY линейно уменьшается.

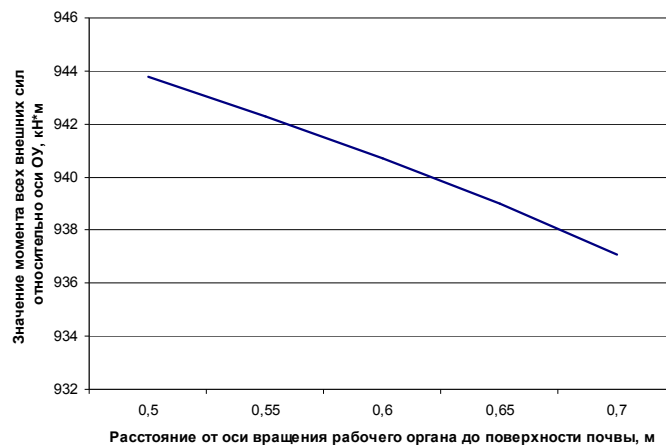


Рис. 2. Зависимость суммарного момента всех внешних сил относительно оси ОУ от расстояния от оси вращения рабочего органа выкопчной машины при выкопке саженца с комом почвы

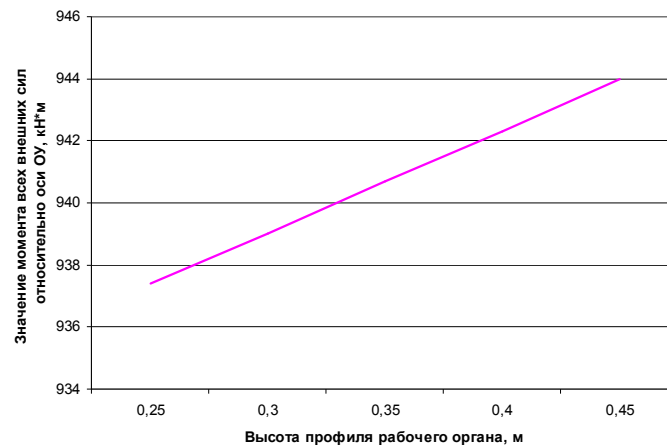


Рис. 3. Зависимость суммарного момента всех внешних сил относительно оси ОУ от высоты профиля рабочего органа при выкопке саженца с комом почвы

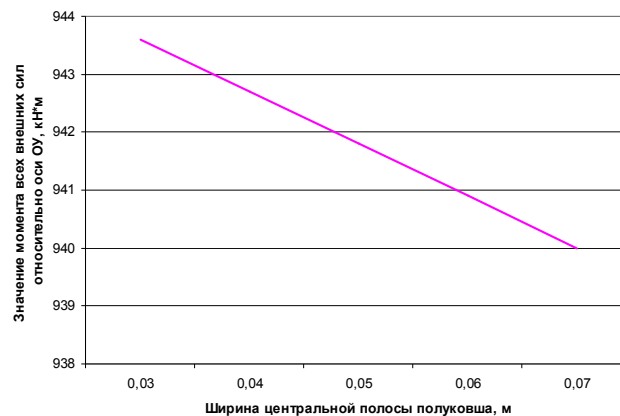


Рис. 4. Зависимость суммарного момента всех внешних сил относительно оси ОУ от ширины центральной полосы полуковша рабочего органа при выкопке саженца с комом почвы

Судя по зависимости, представленной на рис. 5, суммарное значение момента всех внешних сил, действующих на рабочий орган выкопчной машины, относительно оси OY уменьшается как при увеличении центральной полосы полуковша рабочего органа, так и при увеличении ширины боковых полос полуковша. Эффект по уменьшению суммарного момента выражен более ярко, так как боковых полос полуковша в конструкции рабочего органа выкопчной машины две.

Также была проведена серия экспериментов по определению влияния на процесс выкопки саженцев с комом почвы выкопчной машиной толщины лезвия ножей. С увеличением толщины лезвия ножей рабочего органа наблюдается рез-

кое увеличение усилия и работы резания, и, как следствие, моментов сил сопротивлений рабочему процессу (рис. 6), поэтому суммарный момент всех внешних сил относительно оси OY резко уменьшается.

Максимальные значения суммарного момента всех внешних сил относительно оси OY наблюдаются при угле заточки лезвия ножей – $30...40^\circ$ (рис. 7). В дальнейшем из-за увеличения угла заточки лезвий значение суммарного момента внешних сил, действующих на рабочий орган выкопчной машины, уменьшается из-за увеличения сопротивлений резания почвы и перерезания корней саженцев и, следовательно, моментов от данных сил сопротивления процессу выкопки саженцев с комом почвы.

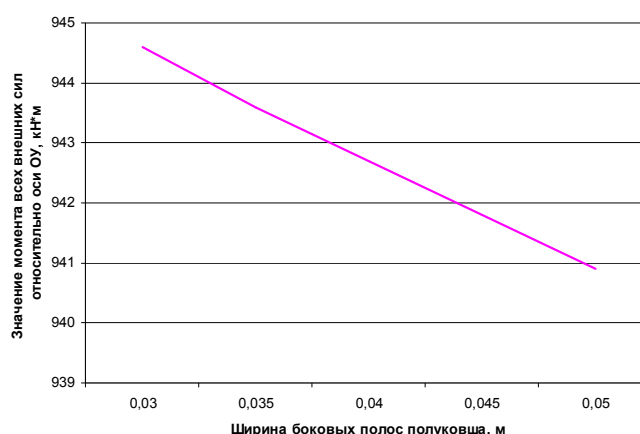


Рис. 5. Зависимость суммарного момента всех внешних сил относительно оси OY от ширины боковых полос полуковша рабочего органа при выкопке саженца с комом почвы

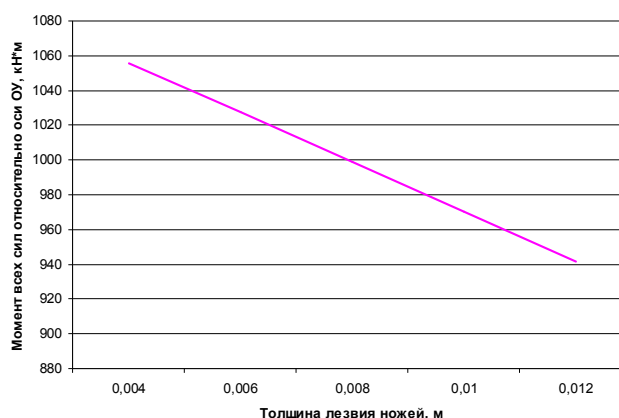


Рис. 6. Зависимость суммарного момента всех внешних сил относительно оси OY от толщины лезвия ножей рабочего органа при выкопке саженца с комом почвы

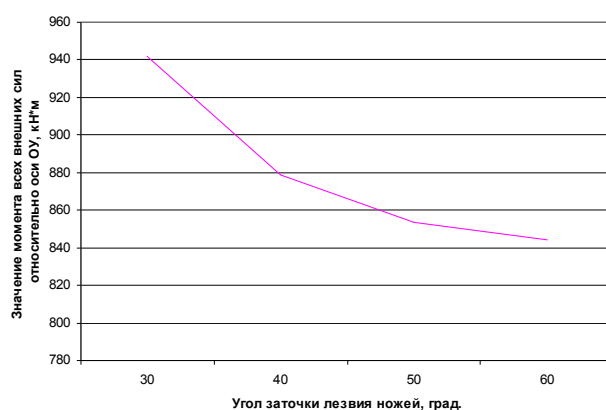


Рис. 7. Зависимость суммарного момента всех внешних сил относительно оси ОУ от угла заточки лезвия ножей при выкопке саженца с комом почвы

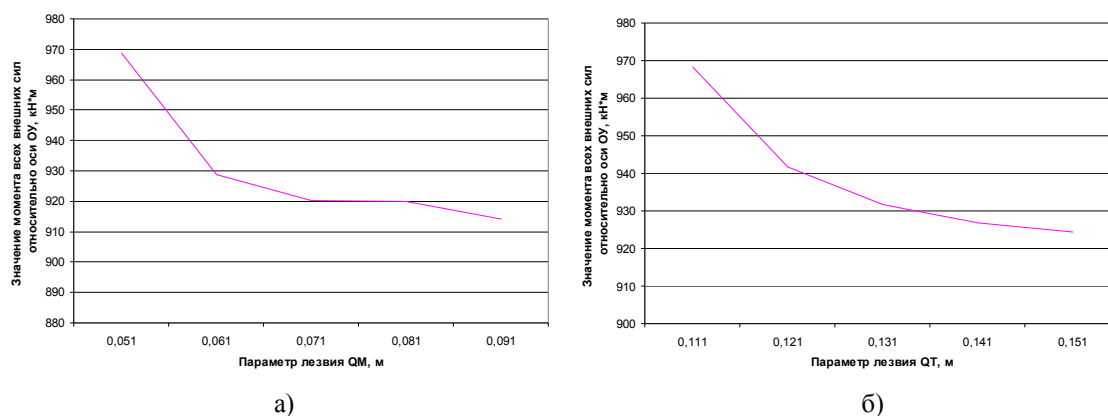


Рис. 8. Зависимость суммарного момента всех внешних сил относительно оси ОУ от длины режущей кромки лезвия QM (а) и QT (б) при выкопке саженца с комом почвы

С увеличением длины режущей кромки лезвия QM и QT ножей рабочего органа наблюдается уменьшение значения суммарного момента всех внешних сил относительно оси ОУ (рис. 8). Это объясняется увеличением поверхности ножа и, как следствие, повышением величины трения о перерезаемый материал.

Выводы. Таким образом, проведение теоретических экспериментов с ис-

пользованием ЭВМ на основе составленной математической модели позволило исследовать процесс выкопки саженцев с комом почвы выкопчной машиной. Приведенные результаты позволяют оценить силовые показатели исследуемого процесса и в дальнейшем определить оптимальные проектные параметры рабочего органа выкопчной машины.

Список литературы

1. Дручинин, Д. Ю. Механизация перспективного способа выкопки крупномерных саженцев с комом почвы / Д. Ю. Дручинин // Вестник КрасГАУ. – 2011. – № 6. – С. 132-135.
2. Лунева, З. С. Выращивание саженцев декоративных деревьев и кустарников: уч. пособие / З. С. Лунева, Е. А. Судакова, В. А. Попов. – М.: Стройиздат, 1965. – 171 с.

References

1. Druchinin D. Yu. Mekhanizatsiya perspektivnogo sposoba vykopki krupnomernykh sazhentsev s komom pochvy [Mechanization of a perspective plant lifting method for planting large-sized saplings with soil clod]. Vestnik KrasGAU. 2011. No 6. P. 132-135.
2. Luneva Z. S. Sudakova E. A, Popov V. A. Vy-rashchivanie sazhentsev dekorativnykh derev'ev i kustarnikov: uch. poso-bie [Growing saplings of decorative trees and bushes: training manual]. Moscow: Stroyizdat, 1965. 171 p.

3. *Пентелькин, С. К.* Технология выращивания посадочного материала в питомниках / С.К. Пентелькин // Лесное хозяйство. – 2000. – № 5. – С. 44-46.

4. *Грушанский, О. А.* Исследование технологии и основных параметров рабочего органа машины для посадки крупномерных деревьев с комом земли: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / О. А. Грушанский. – Киев, 1994. – 30 с.

5. *Климов, Г.Б.* Машины и орудия для выкопки и уборки посадочного материала / Г.Б. Климов. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 35 с.

6. *Резник, Н. Е.* Теория резания лезвием и основы расчёта режущих аппаратов: монография / Н. Е. Резник. – М.: Машиностроение, 1975. – 311 с.

7. Патент на полезную модель 99277 РФ, МПК А01С11/00. Выкопачная машина / М. В. Драпалюк, Д. Ю. Дручинин; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ВГЛТА». – № 2010111038; заявл. 23.03.2010; опубл. 20.11.2010.

8. *Дручинин, Д. Ю.* Математическая модель взаимодействия рабочего органа выкопачной машины с почвой и корнями растений / Д. Ю. Дручинин, О. Р. Дорняк, М. В. Драпалюк // Электронный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – № 68 (04). – Шифр информрегистра: 0421100012/0113. – Режим доступа: <http://www.ej.kubagro.ru/2011/04/pdf/13.pdf>

9. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2012614121 РФ. Моделирование движения рабочего органа для выкопки саженцев с комом почвы / Д.Ю. Дручинин, О.Р. Дорняк, М.В. Драпалюк; правообладатель ФГБОУ ВПО «Воронеж. гос. лесотехн. акад.». – № 2012611734; заявл. 12.03.2012 г.; зарег. 04.05.2012 г.

10. *Советов, Б. Я.* Моделирование систем: учеб. пособие / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – М.: Высшая школа, 1998. – 319 с.

11. Моделирование сельскохозяйственных агрегатов и их систем управления: учеб. для вузов / под ред. А. Б. Лурье. – Л.: Колос. Ленингр. отделение, 1979. – 312 с.

3. *Pentel'kin S. K.* Tekhnologiya vyrashchivaniya posadochnogo materiala v pitomnikakh [Method of cultivation of a planting material in reserves]. Lesnoe khozyaystvo. 2000. No 5. P. 44-46.

4. *Grushanskiy O. A.* Issledovanie tekhnologii i osnovnykh parametrov rabocheho organa mashiny dlya posadki krupnomernykh derev'ev s komom zemli [Research into technology and key parameters of working body of the vehicle used for planting large-sized trees using seedling digging machine]. Summary of thesis. ... Candidate of Technical Sciences.: 05.20.01. Kiev, 1994. 30 p.

5. *Klimov G.B.* Mashiny i orudiya dlya vykopki i uborki posadochnogo materiala [Machines and Instruments for Digging out and Gathering of Planting Material]. Moscow, Lesnaya promyshlennost, 1978. 35 p.

6. *Reznik N. E.* Teoriya rezaniya lezviem i osnovy rascheta rezhushchikh apparatov: monografiya [Theory of cutting by an edge and basic calculation of cutting devices: monograph]. Moscow: Mashinostroenie, 1975. 311 p.

7. *Drapalyuk M. V., Druchinin D. Yu.*, МПК А01S11/00. Vykopachnaya mashina [Plant lifter]. Patent RF, no 2010111038; 2010.

8. *Druchinin D. Yu., Dorniyak O. R., Drapalyuk M. V.* Matematicheskaya model' vzaimodeystviya rabocheho organa vykopachnoy mashiny s pochvoy i kornyami rasteniy [Mathematical model of interaction of plant lifter working tool with the soil and roots of plants]. Elektronnyy zhurnal KubGAU [Elektronnyy resurs]. Krasnodar: KubGAU, 2011. No 68 (04). – Shifr informregistra [Information registry code]: 0421100012/0113. Rezhim dostupa: <http://www.ej.kubagro.ru/2011/04/pdf/13.pdf>

9. *Druchinin D. Yu., Dorniyak O.R., Drapalyuk M.V.* Modelirovanie dvizheniya rabocheho organa dlya vykopki sazhentsev s komom pochvy [Modeling of movement of working tool for lifting saplings with soil clode]. Svidetel'stvo o gos. registratsii programmy dlya EVM RF, no 2012614121, 2012.

10. *Sovetov B. Ya., Yakovlev S. A.* Modelirovanie sistem: ucheb.posobie [Systems modelling: training manual]. Moscow: Vysshaya shkola, 1998. 319 p.

11. Modelirovanie sel'skokhozyaystvennykh agregatov i ikh sistem upravleniya: ucheb.dlya vu-zov [Modeling of agricultural units and their control systems: training manual for higher education institutions]. Under the editorship of. A.B. Lurye. L. : Kolos. Leningr. otделение. 1979. 312 p.

Статья поступила в редакцию 19.10.12.

ДРУЧИНИН Денис Юрьевич – ассистент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин, ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия» (Российская Федерация, Воронеж). Область научных интересов – технические науки, лесное хозяйство. Автор 15 публикаций.

E-mail: druchinin.denis@rambler.ru

ДОРНЯК Ольга Ровальдовна – доктор технических наук, доцент, заведующая кафедрой сопротивления материалов и теоретической механики, ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия» (Российская Федерация, Воронеж). Область научных интересов – технические науки, лесное хозяйство. Автор более 130 научных и учебно-методических работ.

E-mail: olga@dorn.vrn.ru

ДРАПАЛЮК Михаил Валентинович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой механизации лесного хозяйства и проектирования машин, ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия» (Российская Федерация, Воронеж). Область научных интересов – технические науки, лесное хозяйство. Автор более 120 научных и учебно-методических работ.

E-mail: michael1@yandex.ru

DRUCHININ Denis Yuryevich – Assistant at the Chair of Forestry Mechanization and Forest Vehicles Design, FGBOU VPO «Voronezh State Timber Engineering Academy» (Russian Federation, Voronezh). Scientific interests – technical sciences, forestry. Author of 15 publications.

E-mail: druchinin.denis@rambler.ru

DORNYAK Olga Roaldovna – Doctor of Engineering, Associate Professor, Head of the Chair of Material Resistance and Theoretical Mechanics, FGBOU VPO «Voronezh State Timber Engineering Academy» (Russian Federation, Voronezh). Scientific interests – technical sciences, forestry. Author of more than 130 scientific and educational works.

E-mail: olga@dorn.vrn.ru

DRAPALYUK Mikhail Valentinovich – Doctor of Engineering, Professor, Head of Chair of Forestry Mechanization and Forest Vehicles Design, FGBOU VPO «Voronezh State Timber Engineering Academy» (Russian Federation, Voronezh). Scientific interests – technical sciences, forestry. Author of more than 120 scientific and educational works.

E-mail: michael1@yandex.ru

D. Y. Druchinin, O. R. Dorniyak, M. V. Drapalyuk

THEORETICAL RESEARCH OF PLANTLETS LIFTING PROCESS WITH SOIL CLOD

Key words: plant lifter; soil clod; theoretical research; mathematic model; plantlets lifting.

At present heavy plantlets, replaced with soil clod, are more extensively used in silvicultural treatment, reforestation work and gardening of territories. Earlier the authors suggested the design of the special machine - plant lifter, and developed the mathematic model of interaction of the plant lifter tool with the soil and plantlet roots for mechanization of lifting process and replanting of heavy plantlets with soil clod.

The aim of this research is study of plantlets lifting process with soil clod on the basis of developed mathematic model of the studied process through computer experiments.

The basis for the model is the developed by the authors difference equation of the basic element of the plant lifter – its operating tool in the form of a double-arm lever around a stationary shaft.

To solve this difference equation, the program “Modeling of movement of operating tool for lifting plantlets with soil clod” in Matlab programming language was developed and necessary calculations were made.

Computer experiment with the model consisted in simulation of lifting process of plantlets with soil clod by the plant lifter. The operating tool moves in semicircle at a constant speed in the soil, strengthened with plant roots. Thus a few blade components cut the plantlet root, others are involved in the soil cutting process. So, dependence of the total value of moment on all external forces, applied on the operating tool of the machine about the OY_{Moy} axis and other moments, produced by other forces, are fixed.

Conducting theoretical experiments of the mathematic model enabled to study lifting process of plantlets with soil clod by the plant lifter. The results obtained enable to calculate force values of the studied process and subsequently define optimal design parameters of the operating tool of the plant lifter.

УДК 625.855

В. Ю. Иливанов, М. Г. Салихов

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННОГО ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА ПРИ ДЕЙСТВИИ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ

Рассмотрены теоретические основы изменения прочности твердых тел при действии агрессивных сред на примере щебеночно-мастичных асфальтобетонов. Изучено влияние на долговечность модифицированного щебеночно-мастичного асфальтобетона с отсевами дробления известняков одновременного воздействия нагрузок и высоких температур. Показано, что предложенный щебеночно-мастичный асфальтобетон, по сравнению с щебеночно-мастичным асфальтобетоном классического состава, при длительном действии высоких температур подвержен процессам старения в меньшей степени. Методами длительного нагрева щебеночно-мастичной смеси и длительного водонасыщения щебеночно-мастичного асфальтобетона из нее установлена также более высокая коррозионная устойчивость предложенного состава.

Ключевые слова: битум; долговечность; щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА); отсевы дробления известняка (ОДИ); модификация.

Введение. Асфальтовый бетон в процессе работы в дорожных покрытиях подвергается воздействию комплекса атмосферных факторов и со временем изменяет свои свойства. Одной из причин разрушения асфальтобетонных покрытий является старение битума, входящего в состав материала, что связано с потерей им вязкопластических свойств. Это обуславливается испарением масел, входящих в состав битумов.

Исследования и практика последних лет показывают, что направленное улучшение свойств битума путем его модификации является одним из наиболее эффективных способов повышения долговечности асфальтобетона [1]. Однако в некоторых случаях применение модификаторов приводит к усложнению технологии выполнения работ, к удорожанию строительства без заметного увеличения долговеч-

ности, к односторонним эффектам, проявляющимся в отдельных случаях. Это вызывает потребность в расширении номенклатуры модификаторов для более гибкого регулирования свойств асфальтобетона с учетом разнообразнейших условий его эксплуатации в зависимости от расположения асфальтобетонных слоев в конструкции дорожной одежды, от параметров транспортной нагрузки, от климатических параметров и др. Одним из путей решения данной проблемы является замена некоторой части дисперсных частиц асфальтобетонов, в том числе и щебеночно-мастичных, отходами дробления местных малопрочных каменных материалов.

В ранее проведенных исследованиях с положительной стороны проявил себя ЩМА с ОДИ. Как показали специальные исследования и наблюдения за построенным опытным участком на автодороге

Йошкар-Ола – Козьмодемьянск – Чебоксары, покрытия из данного материала полностью отвечают требованиям, предъявляемым к их эксплуатационным характеристикам, а по некоторым показателям – имеют преимущества [2]. Однако при этом наблюдается некоторый рост требуемого расхода вяжущего для приготовления ЩМА смеси. С целью снижения требуемого расхода вяжущего были испытаны некоторые отходы химической промышленности Чувашской Республики.

В ходе проведенных лабораторных исследований был подобран состав минеральной части и установлен оптимальный расход вяжущего в составе ЩМА с ОДИ на битумном вяжущем БНД 60/90, равный 6,5 % (сверх 100 %).

Хорошие результаты были достигнуты за счет применения в битумном вяжущем 0,5 % кубовых отходов производства «Новантокс 8ПФДА». Введение добавки кубовых отходов в смесь ЩМА с ОДИ позволяет снизить количество вяжущего до 5,8 %, при этом предел прочности при сжатии при 50 °С уменьшается незначительно, в то время как прочность при сжатии водонасыщенных образцов увеличивается на 9,0 %, улучшаются показатели водостойкости и средней плотности. Нефтяной дорожный битум марки БНД 60/90 с добавкой кубовых отходов показал повышенное сцепление с песком, улучшение показателя температуры хрупкости вяжущего, поэтому дальнейшее изучение долговечности данного щебеночно-мастичного асфальтобетона на модифицированном вяжущем представляет научный и практический интерес.

Целью работы является снижение себестоимости щебеночно-мастичных асфальтобетонов за счет снижения потребности в битумном вяжущем при сохранении и улучшении его эксплуатационных свойств по сравнению с классическими составами.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд **задач**:

- установить температурную устойчивость образцов ЩМА при длительном действии нагрузки и высокой температуры;

- оценить коррозионную стойкость ЩМА смесей, а также изменение свойств образцов при длительном водонасыщении.

Аналитическое моделирование.

Долговечность ЩМА в значительной степени зависит от скорости протекания процессов старения пленок битума на поверхности минеральных материалов. Интенсивное старение битума происходит уже на стадии приготовления смеси, в процессе объединения вяжущего с минеральными материалами, разогретыми до высоких технологических температур. Поэтому исследование процессов старения битума БНД 60/90 при взаимодействии с добавкой кубовых отходов производства «Новантокс 8ПФДА» и ЩМА с ОДИ на его основе представляет значительный интерес.

При оценке долговечности асфальтобетона необходимо выбирать такие показатели и условия, которые характеризуют напряженное состояние дорожного покрытия при наиболее характерных возможных причинах его разрушения. К таким основным показателям модифицированного ЩМА могут быть отнесены:

- температурная устойчивость при длительном действии нагрузки и высокой температуры;

- коррозионная устойчивость при длительном нагревании смеси;

- изменение свойств при длительном водонасыщении образцов.

Техника эксперимента. Для проведения испытаний были приготовлены асфальтобетонные смеси следующих составов, % по массе:

- 1 состав (ЩМА с ОДИ на модифицированном вяжущем): щебень М 1400 – 72,0; ОДИ – 28,0; вяжущее – 5,8 (св. 100 %); вяжущее состоит, в % по массе: битума БНД 60/90 – 99,5 и кубовых отходов – 0,5;

-2 состав (ЩМА с ОДИ на битуме БНД 60/90): щебень М 1400 – 72,0; ОДИ – 28,0; битум БНД 60/90 – 6,5 (св. 100 %).

Метод определения температурной устойчивости образцов предложен Е.В. Вайнштейном [2] и заключается в определении деформации образцов под нагрузкой, равной удельному давлению от колеса автомобиля $p = 0,6$ МПа при изменении температуры от $+20$ до $+50$ °С. Стандартный образец асфальтобетона устанавливается между плитами механического пресса УП-7 и нагружается расчетной нагрузкой, равной удельному давлению колеса автомобиля на поверхность дороги 0,6 МПа. Площадь образца равна 40 см^2 . Таким образом, требуется нагрузка 4,2 кг на образец с учетом масштаба пресса 1:50. Во время проведения испытаний с помощью индикаторов часового типа с точностью отсчета 0,01 мм определяются продольные деформации образцов. Продольная деформация образца происходит при изменении температуры образца от 20 до 50 °С и далее до разрушения образца поддерживается температура 50 °С. Постоянная температура поддерживалась с помощью рефлекторов. За окончание эксперимента принимается разрушение образца.

Важным свойством асфальтобетона, предопределяющим долговечность материала, является устойчивость его структуры в условиях изменяющегося влажностного и температурного режимов. Свойства асфальтобетонов, склонных к хрупкому

разрушению по мере его старения, способствуют его коррозии [1, 2]. Изучение свойств модифицированного ЩМА, склонного к хрупкому разрушению по мере его старения под действием сверхнормативной нагрузки от транспортных средств, является актуальной проблемой.

Метод определения коррозионной устойчивости модифицированного ЩМА заключается в определении физико-механических свойств образцов при длительном нагревании смеси.

Температура нагрева ЩМА смеси была постоянной и составила 150 °С. Время нагрева смеси составляло: 1...2...4...6 часов. Физико-механические свойства смеси при длительном нагревании определялись по известной методике, описанной ГОСТ [1].

Интерпретация результатов. На рис. 1 представлены графики зависимости деформации образцов ЩМА от времени.

График зависимости средней плотности образцов от времени прогрева приведен на рис. 2.

График зависимости водонасыщения образцов от времени прогрева приведен на рис. 3.

График зависимости предела прочности на сжатие образцов при температуре $t = 20$ °С от времени прогрева представлен на рис. 4.

График зависимости предела прочности на сжатие образцов при температуре $t = 50$ °С от времени прогрева представлен на рис. 5.

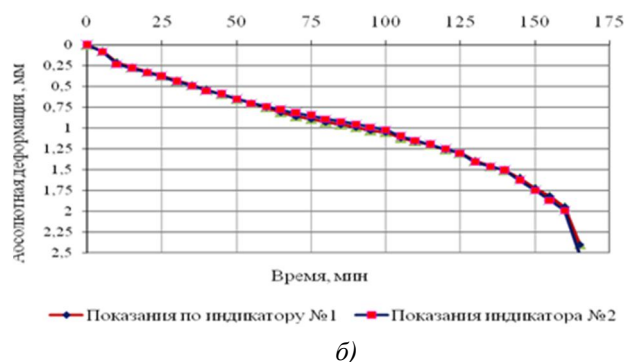
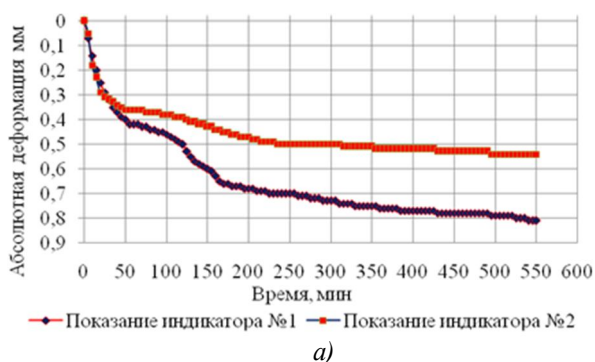


Рис. 1. Графики зависимости деформации образцов от времени:
а) модифицированного ЩМА; б) ЩМА с ОДИ

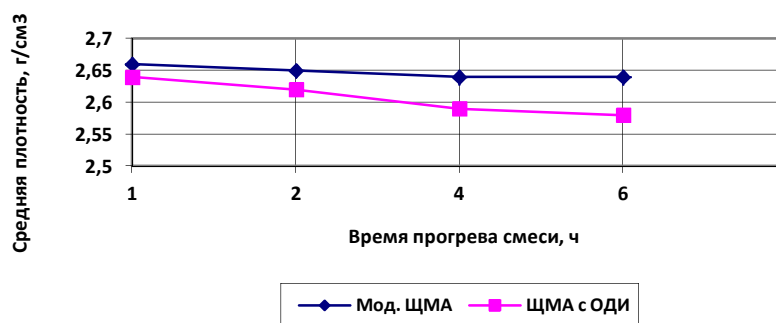


Рис. 2. График зависимости средней плотности образцов от времени прогрева смеси

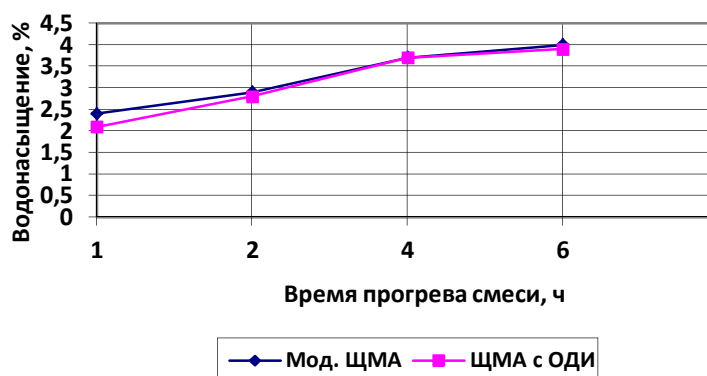
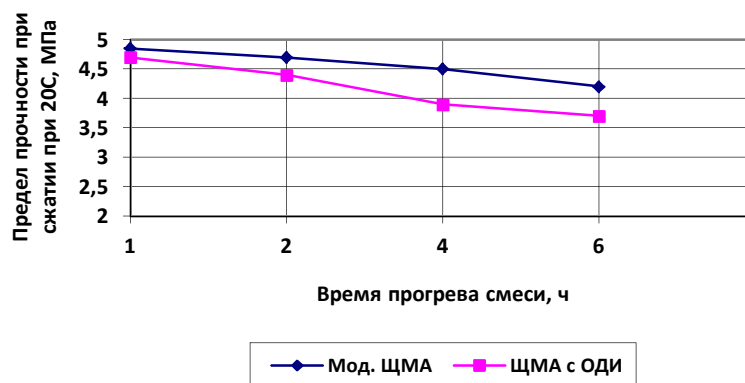
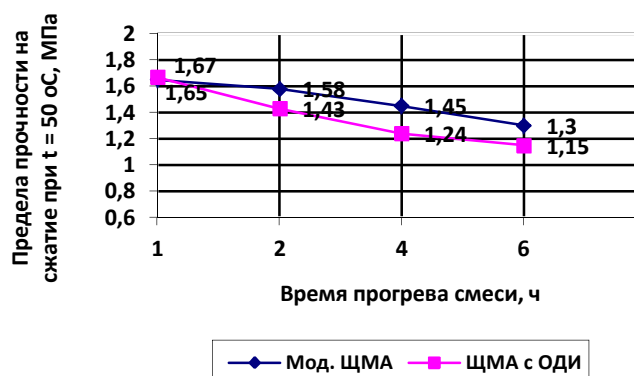


Рис. 3. График зависимости водонасыщения от времени прогрева смеси

Рис. 4. График зависимости предела прочности на сжатие образцов при температуре $t = 20^{\circ}\text{C}$ от времени прогрева смесиРис. 5. График зависимости предела прочности на сжатие образцов при температуре $t = 50^{\circ}\text{C}$ от времени прогрева смеси

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

$$K_T = \frac{R_{сж}^{50^{\circ}C}}{R_{сж}^{20^{\circ}C}}, \quad (1)$$

где $R_{сж}^{50^{\circ}C}$ – предел прочности при сжатии при температуре $t = +50^{\circ}C$; $R_{сж}^{20^{\circ}C}$ – предел прочности при сжатии при температуре $t = +20^{\circ}C$.

График зависимости коэффициента теплостойкости образцов из ЩМА с ОДИ от времени прогрева смеси представлен на рис. 6.

Стандартные испытания ЩМА предусматривают длительное выдерживание образцов в воде в течение 15 суток и получение коэффициента водостойкости при

длительном водонасыщении в зависимости от показателей предела прочности при $20^{\circ}C$, что не позволяет объективно судить о характере изменения физико-механических свойств в течение длительного водонасыщения [4]. В связи с этим были выполнены исследования по определению физико-механических свойств образцов модифицированного ЩМА в условиях изменяющегося влажностного режима.

На рис. 7. представлен график зависимости предела прочности на сжатие образцов при температуре $t = 20^{\circ}C$ от времени водонасыщения.

График зависимости предела прочности на сжатие образцов при температуре $t = 50^{\circ}C$ от времени водонасыщения представлен на рис. 8.

График зависимости водонасыщения образцов от времени водонасыщения представлен на рис. 9.

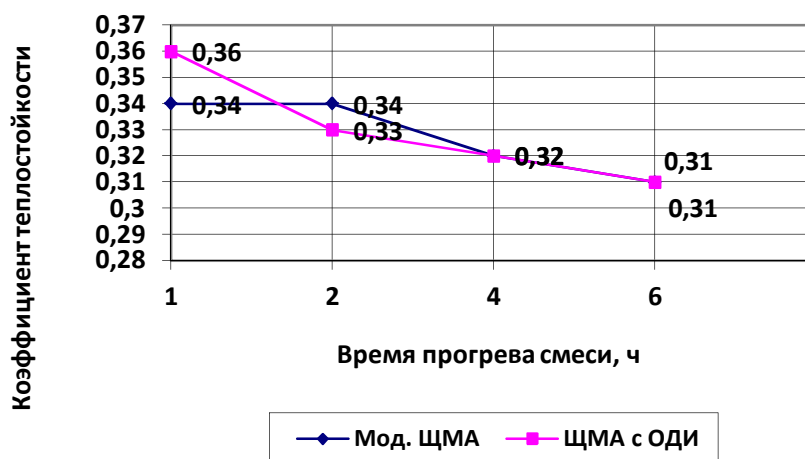


Рис. 6. График зависимости коэффициента теплостойкости образцов от времени прогрева смеси

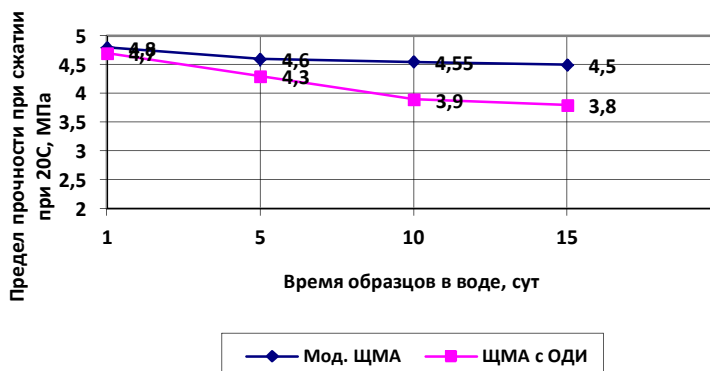


Рис. 7. График зависимости предела прочности на сжатие образцов при температуре $t = 20^{\circ}C$ от времени водонасыщения

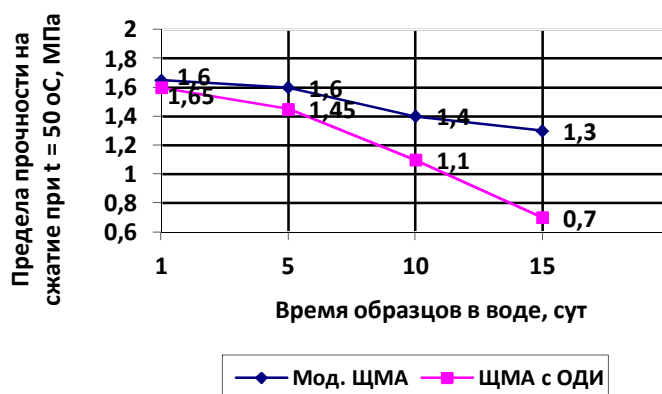


Рис. 8. График зависимости предела прочности на сжатие образцов при температуре $t = 50^{\circ}\text{C}$ от времени водонасыщения

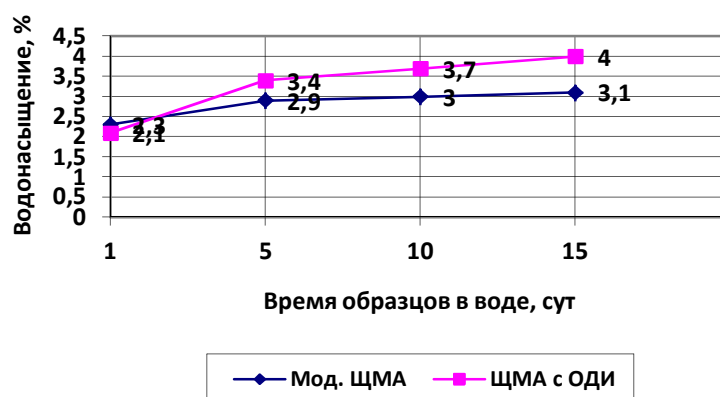


Рис. 9. График зависимости водонасыщения образцов от времени водонасыщения

Выводы. Результаты проведенных исследований показали, что при приготовлении ЩМА с ОДИ, взамен дробленого песка, минерального порошка и стабилизирующей добавки, снижаются значения средней плотности, водонасыщения, прочности на сжатие образцов при температуре $t = 20^{\circ}\text{C}$. В то же время значения прочности при $t = 50^{\circ}\text{C}$ и, соответственно, коэффициента теплостойкости покры-

тия из такого материала выше. При добавлении в ЩМА с ОДИ модифицирующей добавки удастся повысить его устойчивость в агрессивных средах – в воде и коррозионную стойкость – при длительном нагреве, т.е. стойкость против старения. При этом процессы старения битума в образцах модифицированного ЩМА протекают менее интенсивно, чем в смеси и в ЩМА без добавки.

Список литературы

1. Горельшев, Н. В. Дорожный асфальтобетон / Н. В. Горельшев, А. М. Богуславский, Л. Б. Гезенцевей, И. В. Королев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1985. – 350 с.

2. Вайнштейн, Е.В. Влияние длительного нагревания на процессы старения и физико-механические свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона с добавками отсево-дробления известняков / Е.В. Вайнштейн, М.Г. Салихов // Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2010. – № 2 (9). – С. 82-86.

References

1. Gorelyshev N. V., Boguslavskiy A.M., Gezentsvey L.B., Korolev I.V. Dorozhnyy asfaltobeton, 2-e izdanie, pererab. i dor. [Road Asphalt Concrete. 2d edition, revised and improved]. Moscow, Transport Publ., 1985. 350 p.

2. Vainshtein E.V., Salikhov M.G. Vliyaniye dlitel'nogo nagrevaniya na protsessy stareniya i fiziko-mekhanicheskie svoystva shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona s dobavkami otsevo- drobleniya izvestnyakov [Influence of Long-Term Heating on Aging Processes and Physical and Mechanical Properties of Macadam-Mastic Asphalt Concrete with Sifting out of Limestone Crushing]. Vestnik MarGTU. Ser.: Les.

3. *Кириухин, Г.Н.* Проектирование состава асфальтобетона и методы его испытаний / Г. Н. Кириухин//Автомобильные дороги и мосты: обзорн. информация.– М.: ФГУП «Информавтдор», 2005.– Вып. 6.– 96 с.

4. ГОСТ 31015–2002. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия. – Введ. 2003–01–01.– М.: ГУП ЦПП, 2003.– 21 с.

Ekologiya. Prirodopolzovanie [Vestnik of MarS-TU.Ser.:Forest.Ecology.Nature Management]. 2010. No 2 (9). P. 82-86.

3. *Kiryukhin G.N.* Proektirovanie sostava asfaltobetona i metody ego ispytaniy [Planning of Bituminous Concrete Composition and Methods of its Tests]. Avtomobilnye dorogi i mosty: obzorn. inform. [Highways and Bridges: Survey Information]. Moscow: FGUP «Informavtodor», 2005. Vol. 6. 96 p.

4. GOST 31015–2002. Smesi asfaltobetonnye i asfaltobeton shchebenочно-mastichnye. Tekhnicheskie usloviya. Vved. 2003–01–01 [All Union State Standard 31015–2002. Asphalt-Concrete and Macadam-Mastic Mixtures. Introduced in 2003–01–01]. Moscow: GUP TsPP, 2003. 21 p.

Статья поступила в редакцию 15.03.12.

ИЛИВАНОВ Виктор Юрьевич – аспирант кафедры автомобильных дорог, Поволжский государственный технологический университет (Российская Федерация, Йошкар-Ола). Область научных интересов – регулирование свойств дорожных битумов и асфальтобетонов, применение местных материалов в дорожном строительстве. Автор шести публикаций.

E-mail: ilivanovv@rambler.ru

САЛИХОВ Мухаммет Габдулхаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобильных дорог, Поволжский государственный технологический университет (Российская Федерация, Йошкар-Ола). Область научных интересов – физико-химические процессы и экологические аспекты производства и применения дорожно-строительных материалов. Автор 190 публикаций, 10 патентов и авторских свидетельств СССР и РФ на изобретения.

E-mail: SalihovMG@volgatech.net

ILIVANOV Viktor Yurievich – Postgraduate Student at the Chair of Auto Roads, Volga State University of Technology (Russian Federation, Yoshkar-Ola). Research interest – paving bitumen and bituminous concretes property regulation, application of local materials in road construction. The author of six publications.

E-mail: ilivanovv@rambler.ru

SALIKHOV Mukhammet Gabdulkhayevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head at the Chair of Auto Roads, Volga State University of Technology (Russian Federation, Yoshkar-Ola). Research interest – physical and chemical processes and environmental aspects of production and application of road materials. The author of 190 publications, 10 patents and inventor's certificates of the USSR and RF.

E-mail: SalihovMG@volgatech.net

V. Yu. Ilivanov, M. G. Salikhov

STUDY OF THE MODIFIED MACADAM-MASTIC ASPHALT CONCRETE LIFESPAN IN CORROSION MEDIUM

Key words: bitumen; lifespan; macadam-mastic asphalt concrete; sifting out of limestone crushing; development.

Usage of the modifiers for improvement of asphalt concrete lifespan often leads to complication of work delivery technology and rise in price of road construction. At that, roads lifespan does not increase for certain. One of the possible ways of the problem solution is substitution of some part of the dispersed particles of macadam-mastic asphalt concrete with waste products of local soft aggregates. However in this case, over-expenditure of binding substance is observed.

The target of the research is to reduce production costs of macadam-mastic asphalt concrete owing to reduction in requirement in asphalt binder, saving and improvement of its performance properties in comparison with classic compositions.

According to the research results of E.V. Vainshtein and surveillance over experimental part of motor road «Yoshkar-Ola – Kozmodemyansk– Cheboksary», covering of macadam-mastic asphalt concrete with sifting out of limestone crushing fully comply with the requirements, presenting to its performance characteristics. However, some rise of flow requirement of binding for preparation of macadam-mastic asphalt concrete mixture composition 7,5 % is observed. In order to reduce the flow requirement of binding, some mixtures of macadam-mastic asphalt concrete with sifting out of limestone crushing and addition of some chemical wastes were tested. Some achieved in the laboratory conditions results let us speak about performance improvement of the asphalt concrete with reduced to 5,8 % of binding construction bitumen 60/90. The considered in the article mixtures are as follows:

- 1 mixture with reduced percentage of binding, but with waste additive;
- 2 mixture with optimum percentage of binding.

To calculate lifespan of the offered mixture of the modified macadam-mastic asphalt concrete the indicators which characterize strenuous conditions of road surface under the most possible reasons of its destruction are chosen:

- thermal tolerance under long-term load and high temperature;
- corrosion resistance under long-term heating of mixture;
- properties change under water saturation.

As a result of the research of addition into macadam-mastic asphalt concrete with sifting out of limestone crushing of the modified additive, it was managed to improve its tolerance to corrosive medium (water) and improve its corrosion resistance under long heating, i.e. resistance to ageing. At that, aging processes of bitumen in the modified macadam-mastic asphalt concrete are less intensive than in the mixture of macadam-mastic asphalt concrete with sifting out of limestone crushing.

УДК 630*8(07)

А. Н. Чемоданов, П. Е. Царев

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТЕРА НА ПРОЦЕСС ПОШТУЧНОЙ ВЫДАЧИ БРЕВЕН В БУФЕРНЫХ МАГАЗИНАХ С ОТСЕКATEЛЯМИ С ПОСТОЯННОЙ ДЛИНОЙ ЗАХВАТА

Описана методика получения уравнений регрессии усилия давления однорядного слоя круглых лесоматериалов на отсекатели при поштучном отделении в зависимости от скорости движения цепей поперечного цепного транспортера. Приведены результаты сравнения точности отражения усилия давления уравнениями регрессии первого и высшего порядков.

Ключевые слова: круглые лесоматериалы; поштучное отделение; коэффициенты регрессии; уравнения регрессии; степень соответствия.

Введение. В лесной и деревообрабатывающей промышленности исследования проводят с целью отыскания оптимальных условий протекания различных процессов и режимов работы машин и оборудования [1]. Наиболее часто в данном случае используется экспериментальный метод исследований, в результате которого получают математическое описание процесса. Решающую роль при этом играет правильный выбор вида уравнения для описания изучаемой зависимости, поскольку он влияет на степень соответствия расчетных значений экспериментальным данным [2,3].

В связи с этим представляет определенный теоретический и практический интерес точность определения величины давления, оказываемого однорядным слоем круглых лесоматериалов на отсекатели при поштучном отделении с использованием уравнений регрессии первого и второго порядков [4].

Целью настоящей работы является определение влияния фактора скорости на процесс поштучного отделения круглых лесоматериалов. Для этого поставлены следующие **задачи**: получить уравнения

регрессии для определения величины давления при поштучном отделении круглых лесоматериалов в зависимости от скорости движения цепей поперечного цепного транспортера, определить степень соответствия расчетных значений, полученных с использованием уравнения регрессии, и данных, полученных при помощи эксперимента, проверить значимость коэффициентов уравнения регрессии.

Для определения коэффициентов уравнения регрессии на экспериментальной установке получены значения величины давления однорядного слоя круглых лесоматериалов при их поштучном отделении в зависимости от величины угла наклона рабочего стола поперечного конвейера и скорости движения цепей поперечного транспортера, представленных в табл. 1 [5].

На основе результатов данных табл. 1 получено уравнение регрессии первого порядка по полному факторному плану 2^2 , которое имеет вид

$$P_{\text{дав.}} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_1 x_2, \quad (1)$$

где b_0 – свободный член, b_i – линейные коэффициенты регрессии. Построим матрицу базисных функций (табл. 2).

Таблица 1

Экспериментальные данные

№ опыта	α , град	V, м/мин	Усилие давления $P_{\text{дав.}}$, Н	Дисперсия $\sigma^2(y)$
1	-10	2,09	97,80	239,574101
2	10	2,09	848,60	867,036104
3	-10	4,05	107,65	330,40356
4	10	4,05	883,55	584,573907

Таблица 2

Матрица базисных функций полного факторного плана

№ опыта	Значения формальных коэффициентов			Результаты опытов	Дисперсия
	x_0	x_1	x_2	$P_{\text{дав.}}$	$\sigma^2(y)$
1	+	-	-	97,80	239,574101
2	+	+	-	848,60	867,036104
3	+	-	+	107,65	330,40356
4	+	+	+	883,55	584,573907
					$\Sigma 2021,59$

Коэффициенты уравнения регрессии определяются по следующим формулам:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y_j, \quad (2)$$

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} y_j. \quad (3)$$

С использованием формул (2)–(3) получены следующие значения коэффициентов: $b_0=484,40$; $b_1=381,67$; $b_2=11,20$.

На данном этапе необходимо провести проверку значимости полученных коэффициентов. Для этого рассчитаем t_p -отношение для наименьшего коэффициента $b_2=11,20$

$$t_p = \frac{|b_i|}{\sigma(b_i)} = \frac{11,20}{5,16} = 2,17, \quad (4)$$

где $\sigma(b_i)$ – среднее квадратическое отклонение коэффициента, определяемое по выражению

$$\sigma(b_i) = \sqrt{\frac{\sigma^2(y)}{nN}} = \sqrt{\frac{2021,59}{19 \cdot 4}} = 5,16, \quad (5)$$

где $\sigma^2(y)$ – дисперсия воспроизводимости, N – число опытов; n – число повторений.

В качестве дисперсии воспроизводимости берется среднее арифметическое дисперсий опытов

$$\sigma^2(y) = \frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_N^2}{N} = \frac{2021,59}{4} = 505,39. \quad (6)$$

Расчетное значение $t_p=2,22$. Полученную величину t_p -отношения сравниваем с табличным значением $t_{\text{табл}}$ t -критерия Стьюдента. При уровне значимости $q=0,05$ и числе степеней свободы $f_y=N(n-1)=72$ табличное значение $t_{\text{табл}}=2,00 < t_p=2,17$. Это говорит о том, что коэффициент значим. В проверке значимости остальных коэффициентов нет необходимости, поскольку их абсолютные значения больше значения меньшего коэффициента.

Уравнение регрессии в формальном виде

$$P_{\text{дав.}} = 484,40 + 381,67x_1 + 11,20x_2. \quad (7)$$

Необходимым условием является проверка принятой модели на адекватность. В данном случае число коэффициентов после проверки их на значимость равно числу опытов плана, то есть он является ненасыщенным. Для проверки на адекватность таких уравнений в первую очередь используют еще один опыт в цен-

тре плана, когда $x_1=x_2=x_3=0$. Тогда сумма квадратов, характеризующих адекватность модели, определится из выражения

$$\sigma_{ад} = n(P_{\text{дав.0эксп.}} - P_{\text{дав.0теор.}})^2 = 19(477 - 484,26)^2 = 1127,77, \quad (8)$$

а дисперсия адекватности

$$\sigma_{ад}^2 = \frac{\sigma_{ад}}{(N+1)-p} = \frac{1127,77}{2} = 563,887, \quad (9)$$

где $P_{\text{дав.0эксп.}}$ и $P_{\text{дав.0теор.}}$ – значения усилия давления однородного слоя круглых лесоматериалов в центре плана, определенные соответственно экспериментально и по выражению (8), p – число коэффициентов уравнения регрессии.

Если дисперсии адекватности $\sigma_{ад}$ и воспроизводимости $\sigma^2(y)$ однородны, то принятая математическая модель адекватна. Для этого вычисляют величину $F_{\text{расч.}}$, равную

$$F_{\text{расч.}} = \frac{\sigma_{ад}^2}{\sigma^2(y)} = \frac{563,887}{505,39} = 1,116, \quad (10)$$

и сравнивают ее с F-распределением табличным $F_{\text{табл.}}$; если $F_{\text{расч.}} < F_{\text{табл.}}$, то модель адекватна.

При уровне значимости $q=0,05$ и числе степеней свободы $f_y=N(n-1)=72$ и $f_{ад}=N+1-p=2$, $F_{\text{табл.}}=19,5 >> F_{\text{расч.}}=1,116$, значит, проверяемая линейная модель адекватна. Графически зависимость $P_{\text{дав}}$ от V и α показана на рис.1.

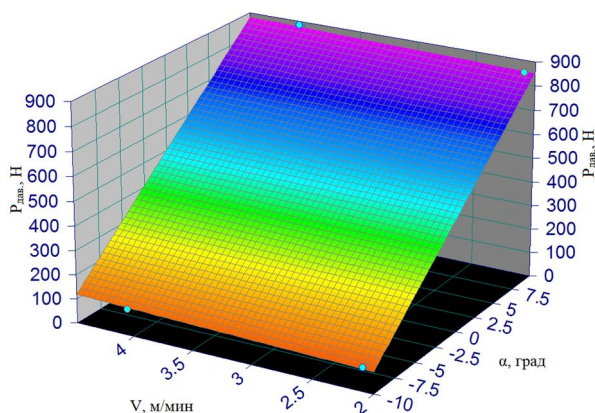


Рис.1. Поверхность отклика уравнения регрессии первого порядка

Перевод уравнения регрессии к натуральному виду осуществляется путем замены формальных переменных (x_1, x_2) натуральными (α, V) с учетом формулы

$$x_i = \frac{X_i - \bar{X}_i}{\Delta X_i}, \quad (11)$$

где X_i – текущее значение i -го фактора, $\bar{X}_i$ – среднее значение i -го фактора, ΔX_i – уровень варьирования i -го фактора.

После соответствующих математических преобразований получено уравнение регрессии в натуральном виде

$$P_{\text{дав.}} = 449,3143 + 38,17\alpha + 11,428V. \quad (12)$$

При помощи программы TableCurve3 Dv4.0.01. на основе имеющегося плана эксперимента был произведен расчет коэффициентов и осуществлен подбор уравнения регрессии высшего порядка:

$$P_{\text{дав.}} = 465,069 + 0,38167\alpha^3 + 1,861V^2. \quad (13)$$

Необходимым условием является проверка принятой модели на адекватность. В данном случае число коэффициентов после проверки их на значимость равно числу опытов плана, то есть он является ненасыщенным. Для проверки на адекватность таких уравнений в первую очередь используют еще один опыт в центре плана, когда $x_1=x_2=x_3=0$. Тогда сумма квадратов, характеризующих адекватность модели, определится из выражения

$$\sigma_{ад} = n(P_{\text{дав.0эксп.}} - P_{\text{дав.0теор.}})^2 = 19(477 - 465,096)^2 = 2567,65, \quad (14)$$

а дисперсия адекватности

$$\sigma_{ад}^2 = \frac{\sigma_{ад}}{(N+1)-p} = \frac{2567,65}{2} = 1283,83, \quad (15)$$

где $P_{\text{дав.0эксп.}}$ и $P_{\text{дав.0теор.}}$ – значения усилия резания в центре плана, определенные соответственно экспериментально и по выражению (8), p – число коэффициентов уравнения регрессии.

Если дисперсии адекватности $\sigma_{ад}$ и воспроизводимости $\sigma^2(y)$ однородны, то принятая математическая модель адекватна. Для этого вычисляют величину $F_{\text{расч.}}$, равную

$$F_{расч} = \frac{\sigma_{ад}^2}{\sigma^2(y)} = \frac{1283,83}{505,39} = 2,540, \quad (16)$$

и сравнивают ее с F-распределением табличным $F_{табл}$; если $F_{расч} < F_{табл}$, то модель адекватна.

При уровне значимости $q=0,05$ и числе степеней свободы $f_y=N(n-1)=72$ и $f_{ад}=N+1-p=2$, $F_{табл}=19,5 \gg F_{расч}=2,540$. Значит, проверяемая линейная модель адекватна. Графически поверхность отклика по уравнению 13 представлена на рис 2.

Для определения степени соответствия расчетных значений усилия давления, найденных по уравнениям регрессии (12) и (13), и выбора более точного, сравним их с экспериментальными данными по форме табл. 3.

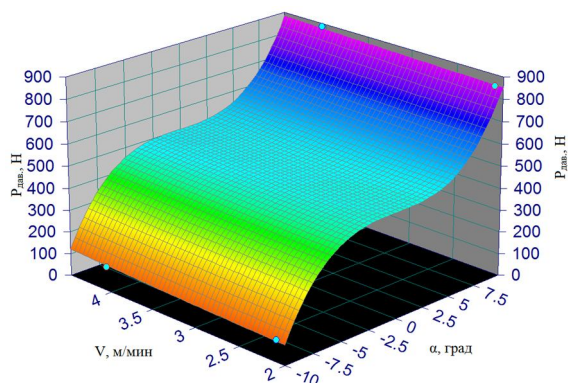


Рис. 2. Поверхность отклика уравнения регрессии высшего порядка

Таблица 3

Переменные факторы		Усилие давления Р _{дав} , Н	Расчетное значение усилия давления по 1 уравнению Р _{дав} , Н	Расхождение в %	Расчетное значение усилия давления по 2 уравнению Р _{дав} , Н	Расхождение в %
α, град	V, м/мин					
-10	2,09	97,80	91,50	6,45	91,53	6,42
10	2,09	848,60	854,90	0,74	854,87	0,74
-10	4,05	107,65	113,95	5,86	113,92	5,83
10	4,05	883,55	877,35	0,70	877,26	0,71

Выводы:

- получены уравнения регрессии первого и высшего порядков для определения усилия давления при поштучном отделении круглых лесоматериалов, при помощи буферного магазина с отсекателями с постоянной длиной захвата и переменной скоростью движения, которые могут быть использованы при проектировании новых конструкций оборудования для поштучной выдачи круглых материалов;

- приведенные уравнения необходимы для оптимизации энергосиловых пока-

зателей процесса поштучной выдачи круглых лесоматериалов;

- необходимо проведение дальнейших исследований с учетом других факторов, влияющих на процесс поштучной выдачи круглых лесоматериалов с целью более точного описания процесса выдачи круглых лесоматериалов при помощи буферного магазина с отсекателями с постоянной длиной захвата и переменной скоростью движения.

Список литературы

1. Пижурин, А.А. Основы научных исследований в деревообработке: Учебник для вузов / А.А. Пижурин, А.А. Пижурин. – М.: МГУЛ, 2005. – 305 с.
2. Боярский, М.В. Планирование и организация эксперимента: Учебное пособие / М.В. Боярский, Э.А. Анисимов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. – 144 с.
3. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие для вузов / В.Е. Гмурман. – 9-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2003. – 479с.; ил.
4. Чемоданов, А.Н. Результаты исследования процесса продольного строгания древесины на шпон / А.Н. Чемоданов, Р.Х. Гайнуллин // Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2010. – № 1. – С. 40-45.
5. Царев, П.Е. Результаты контрольной серии экспериментальных исследований процесса выдачи круглых лесоматериалов / П.Е. Царев // Международная молодежная научная конференция по естественно-научным и техническим дисциплинам «Научному прогрессу – творчество молодых», 20-21 апр. 2012 г. : [материалы и доклады]: в 3 ч. / редкол.: В.А. Иванов [и др.]. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2012. – С. 87-88.

References

- 1 Pizhurin A.A., Pizhurin A.A. Osnovy nauchnykh issledovaniy v derevoobrabotke: uchebnik dlya vuzov [Fundamentals of Woodworking: Textbook for Higher Institutions]. Moscow, MGUL, 2005. 305 p.
2. Boyarskiy M.V., Anisimov E.A. Planirovanie i organizatsiya eksperimenta: uchebnoe posobie [Planning and Organization of an Experiment: Study Guide]. Yoshkar-Ola, MarSTU, 2007. 144 p.
3. Gmurman V.E. Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika: uchebnoe posobie dlya vuzov, 9-e izdanie, illustrirovano [The Theory of Probability and Mathematical Statistics: Study Guide for Higher Institutions, 9th edition, illustrated]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 2003. 479p.
4. Chemodanov A.N., Gaynullin R.Kh. Rezultaty issledovaniya protsessa prodolnogo stroganiya drevesiny na shpon [Research Results of Linear Wood Planing for Veneer Production]. Vestnik MarGTU. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie. [Vestnik of MarSTU. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2010. No 1. P. 40-45.
5. Tsarev P.E. Rezultaty kontrolnoy serii eksperimentalnykh issledovaniy protsessa vydachi kruglykh materialov [Results of Experimental Research on Log Delivery]. Mezhdunarodnaya molodezhnaya nauchnaya konferentsiya po estestvenno-nauchnym i tekhnicheskim distsiplinam «Nauchnomu progressu – tvorchestvo molodykh», 20-21 apr. 2012, v 3 ch., redkol. Ivanov V.A. [International Scientific Conference for Young People in Natural and Technical Disciplines «Scientific Progress – Works of Young Generation», 20-21 April 2012, in 3 parts, Editorial Board Member - Ivanov V.A.]. Yoshkar-Ola: Volga State University of Technology, 2012. P. 87-88.

Статья поступила в редакцию 04.09.12.

ЧЕМОДАНОВ Александр Николаевич – кандидат технических наук, профессор кафедры деревообрабатывающих производств, Поволжский государственный технологический университет (Российская Федерация, Йошкар-Ола). Область научных интересов – технология и оборудование лесопромышленных складов, оборудование деревообрабатывающих производств, сушильные камеры периодического действия. Автор более 120 публикаций.

E-mail: ChemodanovAN@volgatech.net

ЦАРЕВ Павел Евгеньевич – аспирант кафедры деревообрабатывающих производств, Поволжский государственный технологический университет (Российская Федерация, Йошкар-Ола). Область научных интересов – технология и оборудование лесопромышленных складов, оборудование деревообрабатывающих производств, деревянное домостроение. Автор 11 публикаций.

E-mail: TsPavel@mail.ru

CHEMODANOV Alexander Nikolayevich – Candidate of Technical Sciences, Professor at the Chair of Woodworking Industry, Volga State University of Technology (Russian Federation, Yoshkar-Ola). Research interest – technology and equipment of pulp and paper stores, woodworking industry equipment, intermittent kilns. The author of more than 120 publications.

E-mail: ChemodanovAN@volgatech.net

TSAREV Pavel Evgenyevich – Postgraduate Student at the Chair of Woodworking Industry, Volga State University of Technology (Russian Federation, Yoshkar-Ola). Research interest – technology and equipment of pulp and paper stores, woodworking industry equipment, construction of wood buildings. The author of 11 publications.

E-mail: TsPavel@mail.ru

A. N. Chemodanov, P. E. Tsarev

**STUDY OF ELEVATOR TRAVELLING SPEED INFLUENCE ON PIECEWISE
DELIVERY OF LOGS IN BUFFER MAGAZINE WITH LOG SORTER
WITH ONE GRIP LENGTH**

Key words: round timber; piecewise delivery; regression coefficient; regression equation; degree of conformity.

The subject of the article is woodworking equipment. Particular attention is paid to piecewise delivery of logs. The object of the work is to calculate influence of background factor of dip angle of work surface and travelling speed of elevator on pressure force of log layer. On the back of this, the following task was set: to deduce regression equation for calculation of output – pressure of one-layer raw of logs on log sorter. In the course of experimental research the variables which influence on output varied in a certain range. Calculation results, got in solution of the equation of regression of the first and second order and the results of experimental data have inconsequential discrepancy and describe virtual process rather accurate. The obtained data are inserted in tables, dependences are represented in the diagrams.

The offered material may be used in designing new equipment constructions for piecewise delivery of logs. At that, it is important to continue research in the sphere and to take into account many other factors which influence on the process of piecewise delivery of logs.

УДК 625.7/.8:625.02

Н. К. Гусев, П. А. Нехорошков

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ СЛОЁВ КОНСТРУКЦИИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ИЗ МАТЕРИАЛОВ, УКРЕПЛЁННЫХ ПОЛИМЕРНО-МИНЕРАЛЬНОЙ КОМПОЗИЦИЕЙ «NICOFLOK»

Приведены результаты исследования прочности слоев конструкции дорожной одежды из материалов, укрепленных портландцементом совместно с полимерно-минеральной композицией «Nicoflok».

Ключевые слова: дорожная одежда; методика расчета; местный грунт; портландцемент; полимерно-минеральная композиция «Nicoflok».

Введение. Отсутствие во многих регионах РФ прочных дорожно-строительных материалов вызывает необходимость использования местных малопрочных материалов, укрепленных различного рода вяжущими. Как показала практика, одной из наиболее перспективных является инновационная технология укрепления местных материалов портландцементом совместно с полимерно-минеральной композицией «Nicoflok» (ПМКН).

Цель работы – обоснование применения местных материалов, укрепленных портландцементом совместно с полимерно-минеральной композицией «Nicoflok» в конструкциях дорожных одежд, с целью снижения затрат на строительство автомобильных дорог, увеличения темпов строительства, повышения долговечности и эксплуатационных характеристик построенной конструкции.

Задачи:

- 1) разработка методики расчета конструкции дорожной одежды по прочности слоев из укрепленных местных материалов;
- 2) разработка рациональных составов смесей;
- 3) определение физико-механических, прочностных и деформационных характеристик полученных укрепленных местных материалов.

Введение в смесь полимерной добавки «Nicoflok» изменяет структуру связей компонентов смеси, в результате чего увеличивается прочность на сжатие и изгиб, уменьшается водопоглощение и истираемость, возрастает морозостойкость [1].

В конструкции дорожной одежды слой из материала, обработанного ПМКН, представляет собой жёсткую упругую плиту с высоким сопротивлением изгибу. Конструктивный слой дорожной одежды из материала, укрепленного ПМКН, не будет подвергаться трещинообразованию при условии, что действующий в слое изгибающий момент (M_d) не превысит предельного для данного материала изгибающего момента (M_u) [2–4], т.е.

$$\frac{M_u}{M_d} \geq K_{пр}^{тр}, \quad (1)$$

где $K_{пр}^{тр}$ – требуемый минимальный коэффициент прочности в зависимости от требуемого уровня надежности K_n .

Расчётный изгибающий момент M_d в слое из материала, обработанного ПМКН, определяется по формуле [5]:

$$M_d = Q_{расч} \cdot (0,0592 - 0,0928 \cdot \ln \alpha), \quad (2)$$

где $Q_{расч}$ – расчётная величина нагрузки, передаваемой колесом на поверхность покрытия, кН;

$$\text{здесь } \alpha = \frac{D}{2 \cdot L}, \quad (3)$$

где D – диаметр отпечатка колеса; L – упругая характеристика плиты из материала, обработанного ПМКН.

Упругая характеристика приведённой двухслойной конструкции (пакет асфальтобетонных слоёв и слои из материалов, обработанных ПМКН) определяется по формуле:

$$L = \sqrt[3]{\frac{2B(1-\mu_{cp}^2)}{E_{осн}^{общ}}}, \quad (4)$$

где B – приведенная цилиндрическая жесткость, $\text{МН} \cdot \text{м}^2/\text{м}$; μ_{cp} – среднее значение коэффициентов Пуассона асфальтобетонных слоёв и слоя из материала, обработанного ПМКН; $E_{осн}^{общ}$ – общий модуль упругости основания, МПа;

$$B = \frac{E_{ab} \cdot \frac{1}{3} \left[\left(\frac{t_{ab} + t_{Nic}}{2} + z_n \right)^3 + \left(\frac{t_{ab} - t_{Nic}}{2} - z_n \right)^3 \right] + E_{Nic} \cdot \frac{1}{3} \left[\left(\frac{t_{ab} + t_{Nic}}{2} - z_n \right)^3 - \left(\frac{t_{ab} - t_{Nic}}{2} - z_n \right)^3 \right]}{1 - \mu_{cp}^2}, \quad (5)$$

где E_{ab} – средневзвешенный модуль упругости асфальтобетонных слоёв, МПа; E_{Nic} – модуль упругости слоя из материала, обработанного ПМКН, МПа; t_{ab} – общая толщина асфальтобетонных слоёв, м; t_{Nic} – толщина слоя из материала, обработанного ПМКН, м; z_n – координатная привязка нейтральной оси по вертикали, м;

$$z_n = \frac{\left(1 - \frac{E_{ab}}{E_n} \right) \cdot t_{ab} \cdot t_{Nic}}{2 \cdot \left(\frac{E_{ab}}{E_n} \cdot t_{ab} + t_{Nic} \right)}. \quad (6)$$

Предельный изгибающий момент M_U в слое из материала, обработанного ПМКН, определяется по формуле:

$$M_U = R_{btb} \cdot \frac{2 \cdot \left(\frac{1}{3} \left[\left(\frac{t_{ab} + t_{Nic}}{2} + z_n \right)^3 + \left(\frac{t_{ab} - t_{Nic}}{2} - z_n \right)^3 \right] + \frac{1}{3} \left[\left(\frac{t_{ab} + t_{Nic}}{2} - z_n \right)^3 - \left(\frac{t_{ab} - t_{Nic}}{2} - z_n \right)^3 \right] \right)}{t_{ab} + t_{Nic} - 2 \cdot z_n}, \quad (7)$$

$$\text{при } R_{btb} = R_{btb}^H \cdot K_{н.п.} \cdot K_y \cdot K_F, \quad (8)$$

где R_{btb} – расчётное сопротивление материала, обработанного ПМКН, на растяжение при изгибе, МПа; R_{btb}^H – нормативное сопротивление материала, обработанного ПМКН, растяжению при изгибе, МПа; $K_{н.п.}$ – коэффициент набора прочности материала, обработанного ПМКН; $K_y = 1,08 \cdot \sum N_p^{-0,063}$ – коэффициент, отражающий влияние на прочность усталостных процессов в слое из материала, обработанного ПМКН; K_F – коэффициент, учитывающий воздействие попеременного замораживания-оттаивания дорожной одежды.



Рис. 1. Структура отсева дробления известнякового камня фр. 0 – 20 мм, укрепленного портландцементом совместно с ПМКН

Материалы, укрепленные ПМКН, применяют при устройстве верхних и нижних слоев оснований капитальных дорожных одежд, покрытий и оснований облегченных и переходных дорожных одежд, морозозащитных слоев, верхней части земляного полотна [6].

Конструктивные слои дорожной одежды, выполненные из материалов, обработанных ПМКН, практически влагонепроницаемы, гидрофобны и непучинисты, поэтому при конструировании дорожных одежд расчетную влажность земляного полотна необходимо принимать меньше, а именно: на 0,10–0,15 от влажности границы текучести во II и III ДКЗ и на 0,15 – 0,20 в IV–V ДКЗ по сравнению с относительной влажностью грунта земляного полотна [1,7].

Аэродромная и дорожная одежда с конструктивными слоями из материалов, укрепленных цементом совместно с полимерно-минеральной композицией «Nico-flok», длительно сохраняет ровность покрытия, даже при сильном морозном пучении грунта земляного полотна. Значительно улучшается влажностный режим земляного полотна из-за малой водопроницаемости материала, укрепленного полимерно-минеральной композицией «Nico-flok», что сильно сокращает количество воды, поступающей в грунт земляного полотна сверху [8].

Увеличение прочностных и деформационных характеристик материалов, укрепленных цементом совместно с по-

лимерной добавкой «Nico-flok», обусловлено тем, что упрочнение материала происходит за счет ускоренного формирования кристаллизационных связей (гидросиликатов кальция) без образования или при значительном уменьшении числа сульфатных оболочек, являющихся одной из основных причин малой прочности материалов, укрепленных минеральными вяжущими [9].

При укреплении материалов цементом совместно с полимерной добавкой «Nico-flok» образуются сложные пространственные структуры, состоящие как из кристаллизационных жестких, так и из коагуляционных пластичных связей, обеспечивается активный ионный обмен, в результате которого пленочная влага, находящаяся в связанном состоянии на частицах материала и вновь образующихся агрегатах, вытесняется поверхностно-активными веществами, входящими в состав полимерной добавки «Nico-flok», и замещается ими, придавая, таким образом, всей системе гидрофобные свойства. При этом разрушается электростатический потенциальный барьер в полимерной системе [1].

При использовании полимерной добавки «Nico-flok» структура кристалла цементного камня меняет свою обычную форму и формируется вдоль энергетического потока, образованного цепями полимера, происходит образование микрокристаллов игольчатой формы и микроармирование цементного камня. При этом механизм связывания меняется от «склеивания» к «сплетению» – формируются длинноигольчатые кристаллические связи, которые оплетают все элементы. Этим и объясняется увеличение прочности на растяжение при изгибе в 1,5...2 раза, а также отсутствие микротрещин в устраиваемом конструктиве [8].

Укрепление местных материалов введением в них полимерно-минеральной композиции «Nico-flok» апробировано при строительстве автомобильных дорог в Санкт-Петербурге, Сочинском регионе, на

Дальнем Востоке, в Сибири, Поволжье, Нижегородской области, на о. Валаам, а также в Белоруссии и Казахстане.

Так, в Санкт-Петербурге в 2010 году был выполнен капитальный ремонт пр. Добролюбова, в результате которого основание дорожной одежды было выполнено с помощью технологии холодного глубокого ресайклинга из отфрезерованного асфальтобетонного покрытия, укрепленного портландцементом совместно с ПМКН [10].

Предварительно была определена рациональная рецептура смеси, из которой впоследствии было выполнено основание дорожной одежды:

- асфальтогранулят – 100 %;
- портландцемент М 400 – 5 % (от массы асфальтогранулята);
- ПМКН – 0,5 % (от массы асфальтогранулята);
- вода – 3,5 % (от массы смеси из сухого асфальтогранулята, портландцемента и ПМКН).

Впоследствии были выполнены лабораторные испытания лабораторных образцов из смеси по рациональной рецептуре и натурные испытания дорожной одежды на пр. Добролюбова с целью определения прочностных, физико-механических и деформационных характеристик укрепленного асфальтогранулята:

- прочность при сжатии – 6,5 МПа;
- прочность на растяжении при изгибе – 3,3 МПа;
- прочность на растяжении при расколе – 1,25 МПа;
- водопоглощение – 0,8 %;
- истираемость – 0,18 г/см²;
- теплопроводность – 1,089 Вт/м·К;
- марка по морозостойкости – F 50;
- модуль упругости – 2000 МПа.

В Сочинском регионе в 2010 году был выполнен экспериментальный участок технологической автомобильной дороги у ПК181, строящейся совмещенной автомобильной и железной дороги Адлер – Альпика Сервис. Покрытие дорожной одежды

было выполнено из отсева дробления известнякового камня фр. 0 – 20 мм из местного Каменского карьера, укрепленного портландцементом совместно с ПМКН.

Предварительно была определена рациональная рецептура смеси, из которой впоследствии было выполнено покрытие дорожной одежды:

- отсев дробления известнякового камня фр. 0 – 20 мм – 100 %;
- портландцемент М 500 – 5 % (от массы отсева дробления известнякового камня фр. 0 – 20 мм);
- ПМКН – 0,5 % (от массы отсева дробления известнякового камня фр. 0 – 20 мм);
- вода – 10,3 % (от массы смеси из сухого отсева дробления известнякового камня фр. 0 – 20 мм, портландцемента и ПМКН).

Впоследствии были выполнены лабораторные испытания лабораторных образцов из смеси по рациональной рецептуре и натурные испытания дорожной одежды на экспериментальном участке с целью определения прочностных, физико-механических и деформационных характеристик укрепленного отсева дробления известнякового камня фр. 0 – 20 мм:

- прочность при сжатии – 7,7 МПа;
- прочность на растяжении при изгибе – 1,1 МПа;
- прочность на растяжении при расколе – 0,7 МПа;
- водопоглощение – 1,74 %;
- истираемость – 0,64 г/см²;
- теплопроводность – 1,078 Вт/м·К;
- марка по морозостойкости – F 50;
- модуль упругости – 2500 МПа.

На о. Валаам в 2010 году была построена автомобильная дорога от причала до Спасо-Преображенского собора. Покрытие дорожной одежды было выполнено из отсева дробления гранитного камня фр. 0 – 5 мм, укрепленного портландцементом совместно с ПМКН.

Предварительно была определена рациональная рецептура смеси, из которой

впоследствии было выполнено покрытие дорожной одежды:

- отсев дробления гранитного камня фр. 0 – 5 мм – 100 %;
- портландцемент М 400 – 6 % (от массы отсева дробления гранитного камня фр. 0 – 5 мм);
- ПМКН – 0,6 % (от массы отсева дробления гранитного камня фр. 0 – 5 мм);
- вода – 9,2 % (от массы смеси из сухого отсева дробления гранитного камня фр. 0 – 5 мм, портландцемента и ПМКН).

Впоследствии были выполнены лабораторные испытания лабораторных образцов из смеси по рациональной рецептуре и натурные испытания дорожной одежды автомобильной дороги на о. Валаам с целью определения прочностных, физико-механических и деформационных характеристик укрепленного отсева дробления гранитного камня фр. 0 – 5 мм:

- прочность при сжатии – 6,9 МПа;
- прочность на растяжении при расколе – 0,9 МПа;
- водопоглощение – 3,86 %;
- теплопроводность – 1,114 Вт/м·К;
- марка по морозостойкости – F 100;
- модуль упругости – 2800 МПа.

Таким образом, асфальтогранулят, отсев дробления известнякового камня фр. 0 – 5 мм, отсев дробления гранитного камня фр. 0 – 5 мм, укрепленные портландцементом в сочетании с полимерно-минеральной композицией «Nicoфлок», соответствуют требованиям СНиП 2.05.02-85, СНиП 32-03-96, СНиП 3.06.03-85, СНиП 3.06.06-88, ГОСТ 23558-94, ГОСТ 13015-2003, ГОСТ 10060.0-95 для возведения конструктивных слоёв дорожных одежд.

В настоящее время в помощь заказчику, проектировщику и производственным организациям, осуществляющим строительство автомобильных дорог с приме-

нением щебеночно-гравийно-песчаных смесей и грунтов, обработанных неорганическими вяжущими материалами, разработан стандарт организации «Смеси полимерцементогрунтовые с использованием стабилизатора «Nicoфлок» для дорожного строительства (Технические условия)» СТО 68007982.001-2011. Данный стандарт распространяется на смеси полимерцементогрунтовые со стабилизатором «Nicoфлок», получаемые путём смешения в грунтосмесительных установках или на месте производства работ, применяемых для устройства оснований, переходных и низших типов покрытий, укрепления рабочего слоя земляного полотна автомобильных дорог в соответствии с действующими документами технического регулирования, в частности, СНиП 2.05.02.-85 [4], СНиП 3.06.03-85, отраслевого дорожного методического документа (утвержденного распоряжением Минтранса РФ от 15.07.03 № 02-621-р) «Методические рекомендации по устройству покрытий и оснований из щебеночных, гравийных и песчаных материалов, обработанных неорганическими вяжущими», ОДН 218.046-01 [11], ГОСТ 23558-94 [2].

Заключение. Применение смесей из материалов, обработанных цементом совместно с полимерно-минеральной композицией «Nicoфлок», позволяет снизить ресурсоемкость строительства, обеспечить требуемую прочность, износостойкость, водонепроницаемость и морозостойкость дорожных одежд.

Применение новых материалов и передовых технологий позволит снизить затраты на строительство аэродромных и дорожных одежд, а также улучшить эксплуатационные качества и продлить срок службы, что на сегодняшний день является одной из приоритетных задач.

Список литературы

1. Максимов, А.Т. Применение полимерной добавки Nicoflok для укрепления и стабилизации грунтов / А.Т. Максимов, Г.И. Собко. – М.: ВТУ Спецстроя России, 2006. – 89 с.
2. ГОСТ 23558-94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. – Взамен ГОСТ 23558-79; - Введ. 01.01.95. – М. : Изд-во стандартов, 1994. – 16 с.
3. СНиП 32.03-96. Аэродромы. – Введ. 30.04.96. – М. : Минстрой России, ГПИ и НИИГА «Аэропроект», Ленаэропроект, 26 ЦНИИ Минобороны России, СоюздорНИИ, МАДИ (ТУ), 1996 – 47 с.
4. СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги. – Введ. 01.01.85. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 1985. – 47 с.
5. Пособие по строительству покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов из грунтов, укрепленных вяжущими материалами к СНиП 3.06.03-85 и СНиП 3.06.06-88. – М., 1990. – 64 с.
6. Гусев, Н.К. Устойчивые смеси для дорожной одежды / Н.К. Гусев, С.И. Дубина, А.Т. Максимов // Автомобильные дороги. – 2012. – № 5. – С. 80 – 81.
7. Сравнительный анализ эффективности применения стабилизирующих составов и полимерных добавок в конструкциях дорожных одежд автомобильных дорог / Под ред. А.Т. Максимова. – СПб.: ООО «Никель», 2006. – 24 с.
8. Гусев, Н.К. Оптимальный вариант / Н.К. Гусев, С.И. Дубина, А.Т. Максимов // Дороги Содружества. – 2011. – № 4. – С. 76 – 79.
9. Гусев, Н.К. Инновационные материалы для возведения несущих конструктивных слоёв дорожных и аэродромных одежд / Н.К. Гусев, А.В. Дегтярёв // Новые дороги России: сборник трудов Международной конференции. Пенза, 14-17 ноября 2011 г. / Под общ. ред. Г.Г. Болдырева. – Саратов: ООО «Издательский центр «Наука», 2011. – С. 163–167

References

1. Maksimov A.T., Sobko G.I. Primenenie polimernoy dobavki Nicoflok dlya ukrepleniya i stabilizatsii gruntov [Use of Polymer Additive Nicoflok for Soil Stabilization]. Moscow, VTU Spetstroya Rossii, 2006. 89 p.
2. GOST 23558-94 [All-Union standard]. Smesi shchebenочно-graviyno-peschanye i grunty, obrabotannye neorganicheskimi vyazhushchimi materialami dlya dorozhnogo i aerodromnogo stroitelstva [Macadam and Sandy Gravel and Processed in Cement Material Soil for Road and Aerodrome Construction]. Instead of All-Union Standard 23558-79. In action since 01.01.95. Moscow, Standartov Publ., 1994. 16 p.
3. SNiP 32.03-96. Aerodromy. Vved. 30.04.96 [Construction Norms and Rules 32.03-96. Aerodromes. Introduction 30.04.96]. Moscow, Minstroy Rossii, GPI i NIIGA «Aeroproekt», Lenaeroproekt, 26 TSNI Ministerstvo oborony Rossii, SoyuzdorNIi, MADi (TU), 1996. 47 p.
4. SNiP 2.05.02-85. Avtomobilnye dorogi. Vved. 01.01.85 [Construction Norms and Rules 2.05.02-85. Auto Roads. Introduction 01.01.85]. Moscow, Gosstroy Rossii, GUP TSPP, 1985. 47 p.
5. Posobie po stroitelstvu pokrytiy i osnovaniy avtomobilnykh dorog i aerodromov iz gruntov, ukreplennykh vyazhushchimi materialami k SNiP 3.06.03-85 i SNiP 3.06.06-88 [Manual on Auto Roads and Aerodromes Cover Construction in the Strengthened Grounds with Binding Substances. Addition to Construction Norms and Rules 3.06.03-85 and Construction Norms and Rules 3.06.06-88]. Moscow, 1990. 64 p.
6. Gusev N.K., Dubina S.I., Maksimov A.T. Ustoychivye smesi dlya dorozhnoy odezhdy [Strong Compositions for Road Pavement]. Avtomobilnye dorogi [Auto Roads]. 2012. № 5. P. 80-81.
7. Maksimov A.T. Sravnitelnyy analiz effektivnosti primeneniya stabiliziruyushchikh sostavov i polimernykh dobavok v konstruktsiyakh dorozhnykh odezhd avtomobilnykh dorog [Comparative Analysis of Efficiency of Stabilizing Compositions and Polymer Additives in Road Pavement of Auto Roads]. Saint-Petersburg, LLC «Nikel», 2006. 24 p.
8. Gusev N.K., Dubina S.I., Maksimov A.T. Optimalnyy variant [An Optimum Variant]. Dorogi sodruzhestva [Community Roads]. 2011. № 4. P. 76 – 79.
9. Gusev N.K., Degtyarev A.V. Innovatsionnye materialy dlya vozvedeniya nesushchikh konstruktivnykh sloev dorozhnykh i aerodromnykh odezhd [Innovative Materials for Construction of Supporting Constructural Parts of Road and Aerodrome Pavement]. Novye dorogi Rossii: Sbornik trudov Mezhdunarodnoy konferentsii (14-17 noyabrya 2011, g. Penza) [New Roads of Russia: Collected Papers of International Conference

10. Кочеткова, Р.Г. Улучшение свойств глинистых грунтов стабилизаторами // Автомобильные дороги. – 2006. – № 3. – С.123-128.

11. Гусев, Н.К. Рекомендовано к практическому использованию / Н.К. Гусев, С.И. Дубина, А.Т. Максимов // Дорожная держава. – 2011. – № 31. – С. 58 – 59.

(14-17th November 2011, Penza]. Under the editorship of Boldyrev G.G. Saratov, LLC «Nauka Publ.», 2011. 620 p. P. 163 – 167.

10. Kochetkova R.G. Uluchshenie svoystv glinyanykh gruntov stabilizatorami [Improvement of Clay Soils by Means of Stabilizers]. Avtomobilnye dorogi [Auto Roads]. 2006. № 3, P.123-128.

11. Gusev N.K., Dubina S.I., Maksimov A.T. Rekomendovano k prakticheskomu primeneniyu [Recommended for Practical Application]. Dorozhnaya derzhava [Road Empire]. 2011. № 31. P. 58 – 59.

Статья поступила в редакцию 17.04.13.

ГУСЕВ Николай Константинович – аспирант, начальник испытательного центра ОАО «ПЛИИНИИ ВТ «Ленаэропроект» (Российская Федерация, Санкт-Петербург). Область научных интересов – дорожно-строительные материалы. Автор 12 публикаций.

E-mail: NehoroshkovPA@volgatech.net

НЕХОРОШКОВ Петр Аркадьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог, Поволжский государственный технологический университет (Российская Федерация, Йошкар-Ола). Область научных интересов – рациональное лесопользование, транспорт леса, оптимизация и моделирование транспорта леса, геоинформационные и логистические системы. Автор 43 публикаций.

E-mail: NehoroshkovPA@volgatech.net

GUSEV Nikolay Konstantinovich – Postgraduate Student, Head of test centre JSC «PLIINI VT «Lenaeroproekt» (Russian Federation, Saint-Petersburg). Research interest – road materials.

The author of 12 publications.

E-mail: NehoroshkovPA@volgatech.net

NEKHOROSHKOV Pyetr Arkadevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Chair of Auto Roads, Volga State University of Technology (Russian Federation, Yoshkar-Ola). Research interest – rational forest management, forest transport, optimization and simulation of forest transport, geoinformation and logistic systems. The author of 43 publications.

E-mail: NehoroshkovPA@volgatech.net.

N. K. Gusev, P. A. Nekhoroshkov

STUDY OF SOLIDITY OF ROAD STRUCTURE CONSTRUCTED WITH THE USE OF POLYMER-MINERAL COMPOSITION «NICOFLOK»

Key words: road pavement; calculation methods; loose ground; portland cement; polymer-mineral composition «Nicoflok».

The article is devoted to theoretical and experimental researches of local materials, which are strengthened with portland cement and polymer-mineral composition «Nicoflok», in road structure.

The relevance of the problem is proved by the increased number of vehicles on the roads and axial load increase which led to construction of material intensive thick sandwich systems and as a result, caused cost increase of roads construction. It is also important to take into account the fact that the 4th part of all Russian regions have no rock materials, and there is a tendency of using new technologies and materials which are less expensive and more energy saving in road construction and reconditioning of roads.

One of the most effective solutions of the problem of lack of solid rock materials is the use in pavement layer of strengthened loose ground (These are the materials which cannot be used in pavement layer construction if they are not strengthened and which are located in the a close proximity to the place of road construction.).

The obtained results shall help to significantly reduce terms and costs on roads construction as well as to improve performance characteristics of roads.

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ. БИОТЕХНОЛОГИИ

УДК 630*232.32:631.6

Е. М. Романов, Д. И. Мухортов, Т. В. Нуреева

МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕТРАДИЦИОННЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

Приведены результаты исследований по применению нетрадиционных удобрений из органических отходов для мелиорации дерново-подзолистых почв лесных питомников. Установлено, что внесение нетрадиционных органических удобрений не приводит к накоплению солей тяжелых металлов в почвах питомников, улучшает физико-химические свойства почв, а применение оптимальных доз удобрений позволяет получить гармонично развитый, стандартный посадочный материал. Эффективность применения нетрадиционных органических удобрений повышается при их комплексном использовании с другими мелиорантами (песком и глиной).

Ключевые слова: лесные питомники; мелиорация почвы; нетрадиционные органические удобрения; сеянцы; саженцы.

Введение. Одной из основных задач лесохозяйственной деятельности является увеличение продуктивности лесов путем оптимизации условий их воспроизводства, что предусматривает и выращивание высококачественного посадочного материала в достаточном количестве. Этого невозможно добиться без применения мелиорации почв лесных питомников. В современных рыночных условиях высокая стоимость традиционных органических и минеральных удобрений ограничивает возможность своевременного восстановления плодородия почв питомников. Необходимость мелиорации почв лесопи-

томников, как правило, возникает после их интенсивной эксплуатации в течение длительного времени. В связи с применением минеральных удобрений, пестицидов, машин и механизмов происходят не только процессы ухудшения агрохимических свойств почвы, но и негативные изменения в количественном и качественном составе почвенной микрофлоры. В конечном итоге в ряде случаев становится невозможным обеспечение планового выхода посадочного материала. Возникает дилемма: закрытие постоянных со сформированной инфраструктурой лесопитомников и организация их на новой

территории либо проведение комплексной мелиорации слабокультуренных и деградированных почв. Для этих целей в настоящее время существует возможность использования органических отходов и продуктов на их основе как наиболее дешевого и востребованного сырья.

По данным Росприроднадзора [1], на территории Российской Федерации ежегодно образуется от 2,0 до 3,9 млрд. тонн отходов производства и потребления. При этом только от 39,7 до 59,7 % из них перерабатывается в полезную продукцию и обезвреживается. Существенные объемы отходов накапливаются и требуют принятия мер по их переработке и утилизации. При этом они располагаются локально, вблизи мест образования, нанося непоправимый ущерб состоянию окружающей среды. Значительная доля отходов относится к органическим. Многие из них обладают полезными свойствами [2]: содержат большое количество органического вещества, элементов минерального питания, могут быть переработаны в органические удобрения и использованы для мелиорации почв лесных питомников.

Цель исследований заключалась в оценке эффективности влияния нетрадиционных удобрений на основе органических отходов на плодородие дерново-подзолистых почв, рост сеянцев и саженцев древесных растений в лесных питомниках.

Решаемые задачи:

- изучить агролесозоологические вопросы влияния нетрадиционных органических удобрений на свойства дерново-подзолистых почв, в том числе транслокацию подвижных форм тяжелых металлов по почвенному профилю;
- оценить влияние дозы внесения нетрадиционных органических удобрений на водно-физические и агрохимические свойства дерново-подзолистых почв лесных питомников;
- определить оптимальные дозы внесения нетрадиционных удобрений в дер-

ново-подзолистые почвы лесных питомников по отзывчивости сеянцев и саженцев древесных растений;

- выявить возможность применения нетрадиционных органических удобрений в комплексе с другими мелиорантами для комплексной мелиорации деградированных дерново-подзолистых почв лесных питомников путем агрохимической диагностики и изучения отзывчивости сеянцев и саженцев древесных растений.

Объект и методика исследований.

Объектом исследований являлось комплексное воздействие нетрадиционных удобрений из органических отходов, в том числе с другими мелиорантами (песок, глина) на физико-химические свойства дерново-подзолистых почв лесных питомников, рост сеянцев и саженцев древесных растений. Опытные объекты по изучению влияния нетрадиционных органических удобрений на агроценозы, рост сеянцев и саженцев древесных растений располагались в Мушмаринском (поля № 1, 3, 7), Кокшайском (поле № 22) лесных питомниках, питомниках Ботанического сада института и Учебно-опытного лесхоза Поволжского государственного технологического университета.

С целью определения влияния дозы внесения нетрадиционных органических удобрений (НОУ) на физико-химические свойства почв, рост и развитие сеянцев и саженцев древесных растений удобрения различного состава вносились в дозах от 15 до 480 т/га, контрольными служили участки, куда мелиоранты не вносились. Площадь каждой повторности – 2 м². Между делянками были оставлены защитные зоны. Внесение удобрений, посев семян или посадка сеянцев, агротехнические мероприятия по выращиванию растений выполнялись вручную.

Для подтверждения результатов, полученных в мелкоделяночных опытах, и подтверждения эффективности нетрадиционных удобрений на больших площадях были заложены опытно-производст-

венные экспериментальные участки на полях № 1, 3, 10, 23 Мушмаринского лесного питомника и в Кокшайском лесопитомнике. Они включали два варианта: I – контрольный, II – внесено 120 т/га нетрадиционного удобрения. Площадь одной делянки составляла 50 м². По ширине участка располагались шесть полных посевных лент длиной 5 м. Между делянками были оставлены контрольные участки площадью 50–100 м². Повторность данных опытов также трехкратная. Мелиоранты на опытно-производственных участках вносились осенью по черному пару в год, предшествующий посеву. Все технологические мероприятия выполнялись в соответствии с принятыми в лесных питомниках технологиями выращивания посадочного материала.

Для изучения влияния нетрадиционных удобрений на биометрические показатели сеянцев производилась их выкопка по методу «глыбки» [3] на однометровых отрезках, расположенных на каждой повторности опыта, а затем увязывались в пучки. Грунтовая всхожесть семян на опытных участках определялась путем проведения пересчетов каждые 3 – 4 дня с момента появления всходов на однометровых отрезках, отграниченных кольщиками. Погибшие сеянцы убирались.

Исследования влияния нетрадиционных органических удобрений на агрохимические показатели почв включали отбор смешанных проб почвы по ГОСТ 17.4.3.01. Физические и агрохимические свойства почвы были определены по общепринятым методикам: влажность – по ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.58-08, плотность сложения почвы – по методу Качинского, гранулометрический состав – по методу пипеток, подвижный фосфор и калий – по Кирсанову (ГОСТ 26207), гумус – по методу И. В. Тюрина (ГОСТ 26213), азот аммонийный – по ГОСТ 26489, нитратный – ионометрическим методом (ГОСТ 26951), щелочно-гидролизный – по методике Казанского филиала ЦИНАО по

Корнфильду, гидролитическая кислотность и сумма поглощенных оснований – соответственно по ГОСТ 26212 и ГОСТ 27821, гидролитическая кислотность и сумма поглощенных оснований – по ГОСТ 26212 и ГОСТ 27821 соответственно, кислотность – по ГОСТ 26484. Содержание подвижных форм тяжелых металлов определяли атомно-абсорбционным методом (РД 52.18.289-90 и ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.36-02). Планируемое количество измерений и анализов, как правило, обеспечивает достоверность полученных данных на 5 %-ном уровне значимости.

Результаты исследований. В состав некоторых видов НОУ входят компоненты, содержащие нежелательные ингредиенты, в том числе соли тяжелых металлов (ТМ). Установлено, что через четыре года после внесения нетрадиционных удобрений на основе осадков сточных вод (ОСВ) и гидролизного лигнина (ГЛ) в дерново-подзолистую легкосуглинистую почву проникновение солей ряда ТМ отмечено лишь до глубины 60 см (рис. 1).

При исследовании последствий внесения аналогичного органического удобрения в супесчаную почву установлено достоверное увеличение в верхнем пахотном горизонте 0–20 см содержания Ni, Zn и Mn на второй год после его внесения ($F_{\text{факт.}}=8,42...211,4 > F_{\text{табл.}}=8,00$). В нижележащих слоях почвы содержание ТМ на участке с внесением нетрадиционного мелиоранта не превышало фоновое (табл. 1).

Кроме того, было выявлено, что более половины общего содержания солей металлов (38,70–70,92 %) находится в верхнем слое почвы. Наряду с этим, ТМ на контрольных участках подвергаются вымыванию в нижние горизонты в большой степени. Это особенно характерно для никеля, меди и свинца, содержание которых в слое почвы 40–60 см данных участков максимальное и составляет соответственно 45,3; 66,7 и 48,3 % от суммы в горизонте 0–60 см. В нетрадиционном удобрении из изученных элементов преобладали

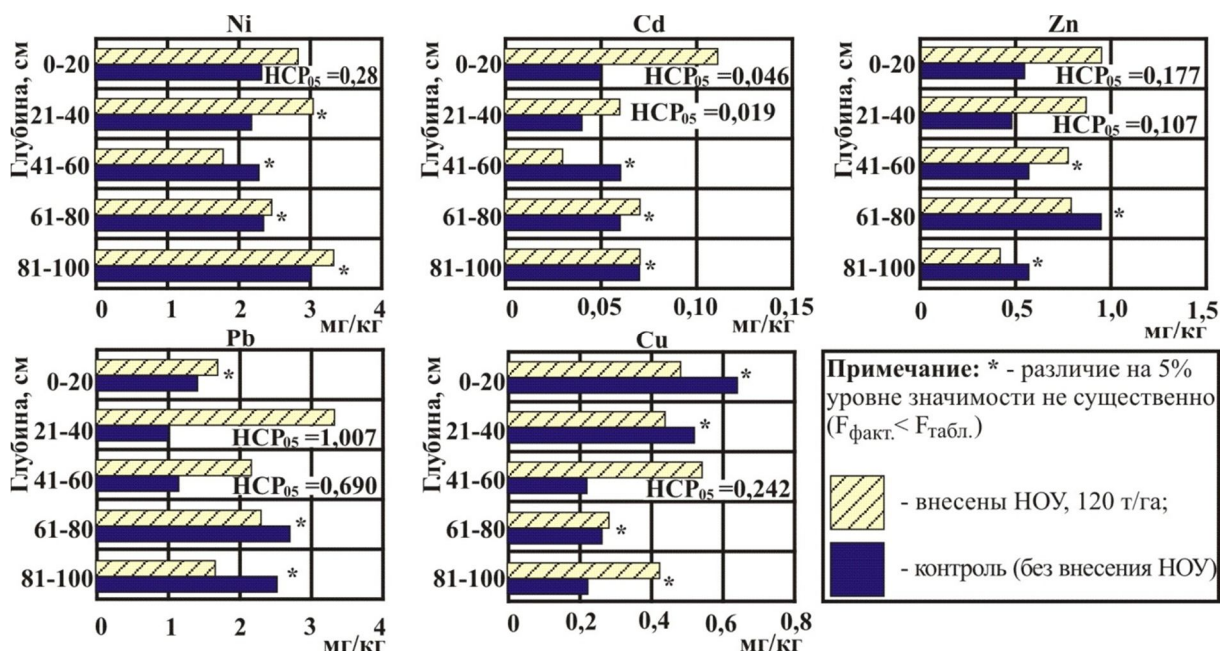


Рис. 1. Транслокация тяжелых металлов по профилю дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы при внесении 120 т/га НОУ (Мушмаринский лесопитомник)

Таблица 1

Влияние внесения нетрадиционного удобрения на содержание тяжелых металлов в различных горизонтах дерново-подзолистой супесчаной почвы (поле №1 Мушмаринского лесопитомника)

Тяжелые металлы	Почвенный горизонт, см	Содержание тяжелых металлов при дозе внесения нетрадиционного удобрения, мг/кг		HCP ₀₅
		0 т/га	120 т/га	
Кадмий	0-20	0,13	0,23	*
	20-40	0,12	0,09	*
	40-60	0,03	0,08	*
	HCP ₀₅	0,05	*	-
Никель	0-20	0,67	2,20	0,95
	20-40	0,85	1,20	*
	40-60	1,26	0,70	*
	HCP ₀₅	*	0,62	-
Цинк	0-20	1,88	3,43	1,08
	20-40	1,02	1,80	*
	40-60	0,98	1,18	*
	HCP ₀₅	*	0,98	-
Медь	0-20	0,63	0,63	*
	20-40	0,33	0,55	*
	40-60	1,92	0,45	*
	HCP ₀₅	*	*	-
Марганец	0-20	11,8	33,5	2,22
	20-40	7,63	9,53	*
	40-60	3,30	4,20	*
	HCP ₀₅	3,34	2,63	-

Примечание: * – различие на 5 % уровне значимости не существенно ($F_{\text{факт.}} < F_{\text{табл.}}$).

цинк, никель и марганец, что подтверждается превышением их содержания в верхнем слое почв опытных участков над контрольными. Однако при однократном внесении удобрения в дозе 120 т/га превышения ПДК ни по одному из данных элементов не отмечено.

Исследования дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, куда были внесены 120 т/га НОУ из ГЛ и ОСВ с различным соотношением компонентов, показали, что при увеличении в их составе доли отходов, загрязненных тяжелыми металлами (например, ОСВ), возрастает валовое содержание ТМ в пахотном горизонте почвы. По сравнению с контролем достоверное на 5%-ном уровне значимости повышение содержания в пахотном горизонте Cu и Ni наблюдается при соотношении ГЛ и ОСВ по массе как 1:2,5, Zn и Mn – 1:5,0, Cd – 1:10,0 и выше.

Повышение дозы внесения НОУ может повлечь за собой увеличение концентрации солей тяжелых металлов в пахотном горизонте почвы. Так, при внесении различных доз НОУ на основе ОСВ г. Йошкар-Олы и опилок в дерново-подзолистую суглинистую почву произошло увеличение содержания кадмия, меди и цинка, но существенное на 5 %-ном уровне значимости отличие в содержании ТМ отмечено только при повышенных дозах внесения 240 и 480 т/га.

В силу того, что большая часть ТМ концентрируется в верхних горизонтах почвы, при выкопке посадочного материала происходит их вынос с растениями и

почвой на корневой системе. Это позволяет очистить почву (табл. 2).

Несмотря на это, нормирование доз внесения НОУ обязательно. По специальной формуле [4] был проведен расчет экологически безопасной дозы НОУ на основе ГЛ и ОСВ в дерново-подзолистые почвы. Экологически безопасная доза внесения удобрения в легкосуглинистую почву по никелю составляет 48,2 т/га по сухому веществу (в туках – около 137,7 т/га), супесчаную по кадмию – 142,2 т/га (в туках – около 406,7 т/га) один раз в пять лет. По остальным ТМ расчетная доза оказалась значительно выше.

С увеличением дозы внесения НОУ, независимо от доли участия в его составе отходов, относящихся к различным категориям [5], возрастает влажность верхнего десятисантиметрового слоя в засушливые периоды и снижается плотность сложения пахотного горизонта дерново-подзолистых почв. Плотность сложения достигает оптимальных значений (1,00–1,15 г/см³) при дозе внесения 240 т/га и выше в легкосуглинистые и до 120 т/га в песчаные и супесчаные почвы.

Состав и виды компонентов НОУ влияют на плотность сложения почвы. На основе многолетних наблюдений и испытаний нетрадиционных органических удобрений при мелиорации дерново-подзолистых почв лесных питомников были получены математические модели влияния внесения НОУ на плотность сложения пахотного горизонта дерново-подзолистых почв:

Таблица 2

Влияние внесения НОУ (120 т/га) на содержание солей тяжелых металлов в пахотном горизонте легкосуглинистой дерново-подзолистой почвы (Мушмаринский лесопитомник)

Доза внесения НОУ	Содержание солей тяжелых металлов до (1) и после (2) выкопки сеянцев сосны обыкновенной, мг/кг									
	Кадмий		Никель		Свинец		Медь		Цинк	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
120 т/га	0,54	0,11	2,83	2,04	10,50	1,68	1,68	0,42	4,08	0,94
Контроль (0 т/га)	0,27	0,05	2,32	1,97	9,00	1,40	1,22	0,22	2,33	0,54
НСР ₀₅	0,23	0,05	0,28	*	*	*	*	*	0,73	0,18
ПДК	2,0		4,0		6,0		3,0		23,0	

Примечание: * – различие на 5 % уровне значимости не существенно ($F_{\text{факт.}} < F_{\text{табл.}}$).

- для песчаных почв $y = \rho_0 \cdot \exp(-0,00075 \times (d \cdot b \cdot \rho)^{0,75})$;

- для супесчаных почв $y = \rho_0 \cdot \exp(-0,0001 \times (d \cdot b \cdot \rho)^{0,98})$;

- для легкосуглинистых почв $y = \rho_0 \cdot \exp(-0,006 \cdot (d \cdot b \cdot \rho)^{0,42})$,

где ρ_0 – первоначальная плотность сложения почвы, г/см³; d – доза внесения НОУ, т/га; b – доля отходов категории I (наполнителя) [5] в составе НОУ, %; ρ – насыпная плотность отходов категории I (наполнителя) в составе НОУ, г/см³.

Повышение дозы внесения НОУ оказывает влияние на агрохимические показатели почвенного плодородия: увеличивается содержание гумуса, азота и фосфора, снижается ее кислотность (рис. 2). Большинство из них достигают близких к

оптимуму [6] значений при дозе 80 – 120 т/га (30 – 45 т/га по сухому веществу).

При использовании нетрадиционных удобрений в качестве почвенных мелиорантов нужно учитывать их состав и содержание элементов минерального питания в исходных компонентах. Установлено, что для дерново-подзолистых почв легкого гранулометрического состава нужно применять компосты с долей органических отходов категории II в их составе по массе не менее 28 % (рис. 3), а для мелиорации более богатых суглинистых почв доля отходов категории II в составе компоста должна быть увеличена до 75 % и более. В этом случае содержание элементов минерального питания растений в почве повысится.

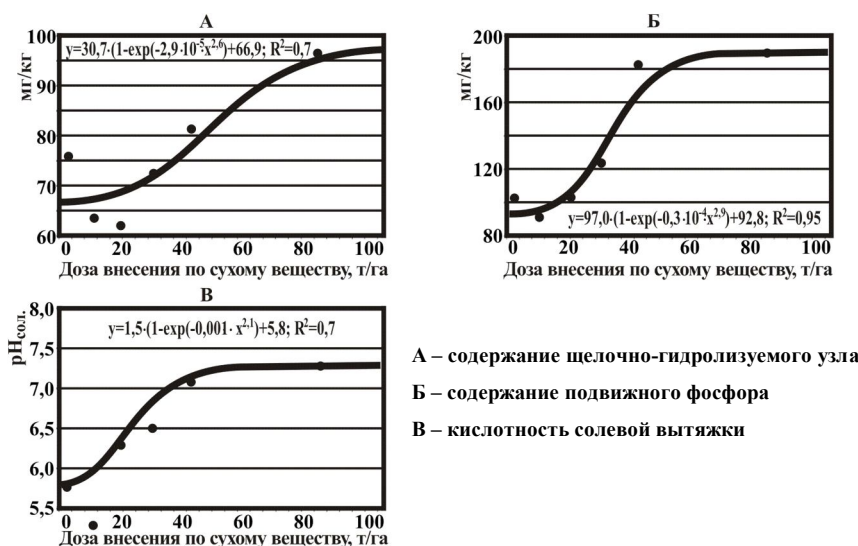


Рис. 2. Влияние дозы внесения НОУ из ОСВ и ГЛ (соотношение по массе 1,7:1) на агрохимические показатели дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы (Питомник Ботанического сада-института ПГТУ)

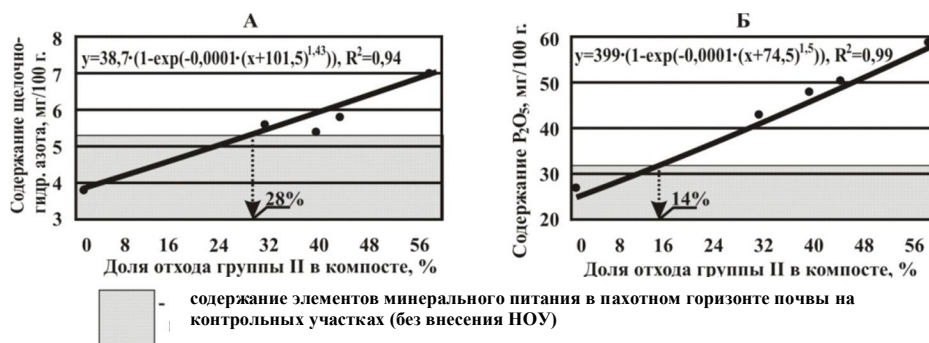


Рис. 3. Влияние доли отходов группы II (субстрата) в составе НОУ на содержание подвижных форм азота и фосфора в пахотном горизонте дерново-подзолистой супесчаной почвы (Мушмаринский лесопитомник)

Оптимальных показателей почвенного плодородия можно достигнуть в короткие сроки за счет комплексного применения НОУ с другими мелиорантами. Внесение одного песка дозой 450 м³/га в среднесуглинистую почву снизило содержание частиц илистой фракции на 5,26 %. Одновременное использование НОУ (на основе ОСВ и ГЛ) и песка позволило довести содержание физической глины в пахотном горизонте до оптимальных показателей – 19,4 %. Для улучшения физических свойств легкосуглинистой почвы оказалось достаточным внесение одного НОУ. По доле наличия фракции «физическая глина» почва приблизилась к категории супесчаных. Следует отметить, что пескование тяжелых почв, как отдельный агроприем, способствует снижению оструктуренности почвы, а совместное использование мелиорантов не привело к какому-либо достоверному изменению структурного состава пахотного горизонта дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы. Использование нетрадиционного удобрения и песка в комплексе позволяет оптимизировать значение плотности сложения пахотного горизонта.

Для мелиорации почв легкого гранулометрического состава эффективно проведение глинования [7]. Это позволяет оптимизировать водно-физические свойства пахотного горизонта песчаных и супесчаных почв (табл. 3).

Применение НОУ в комплексе с другими мелиорантами позволяет существенно изменить агрохимические показатели почв. Внесение НОУ в дозе 120 т/га обеспечило повышение содержания органического вещества в песчаной почве на 1,0, в супесчаной – на 1,8, легкосуглинистой – на 1,6, а в среднесуглинистой – на 2,1 %, подвижного фосфора в 1,7; 1,9; 1,2 и 1,5 раза соответственно. Уровень содержания нитратного азота также повышается в 1,7–5,3 раза по сравнению с контролем. На содержание обменного калия этот агроприем влияния не оказал. Наблюдается снижение гидролитической кислотности, рН_{сол.} почвенного раствора приближается к нейтральным значениям (табл. 4). Совместное использование НОУ и глины для мелиорации легких по гранулометрическому составу почв еще в большей степени позволило повысить содержание органического вещества, но привело к снижению содержания элементов минерального питания растений в пахотном горизонте. Применение пескования, как отдельного агроприема, при мелиорации среднесуглинистой почвы, напротив, приводит к снижению содержания органического вещества, а также элементов минерального питания. Комплексное внесение НОУ и песка позволяет повысить агрохимические показатели тяжелых почв.

Таблица 3

Влияние приемов мелиорации на водно-физические свойства пахотного горизонта дерново-подзолистых почв легкого гранулометрического состава

Внесено		Супесчаные почвы (Мушмаринский лесопитомник)		Песчаные почвы (Кокшайский питомник)	
НОУ, т/га	глина, м ³ /га	0-10 см	10-20 см	0-10 см	10-20 см
Плотность сложения, г/см ³					
Контроль (без мелиорантов)		1,28	1,44	1,31	1,34
120	0	1,08	1,26	1,08	1,28
120	400	1,07	1,10	1,18	1,27
0	400	-	-	1,26	1,35
НСР ₀₅		0,07	0,11	0,071	*
Влажность, %					
Контроль (без мелиорантов)		11,70	10,80	3,53	5,00
120	0	16,60	17,10	4,59	3,98
120	400	22,04	24,71	7,49	7,41
0	400	-	-	7,98	9,62
НСР ₀₅		2,33	3,93	1,798	3,173

Примечание: * – различия на 5 % уровне значимости не существенны ($F_{\text{факт.}} < F_{\text{табл.}}$).

Таблица 4

**Влияние внесения глины, песка и нетрадиционных органических удобрений
на агрохимические свойства дерново-подзолистых почв**

Внесено			Органич. вещ- во, %	Гидролитич. кислотность	Сумма поглощен. оснований	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃
НОУ, т/га	глина, м ³ /га	песок, м ³ /га						
песчаные почвы (Кокшайский лесопитомник)								
Контроль			0,7	1,6	1,4	14,6	6,7	0,3
120	0	-	1,7	0,3	41,4	24,4	4,8	1,6
120	100	-	1,5	0,3	38,0	24,3	6,1	0,8
120	200	-	1,8	0,3	37,6	21,9	7,0	1,2
120	400	-	2,0	0,3	40,8	20,2	6,7	1,0
120	800	-	1,8	0,3	41,9	20,4	7,1	1,1
HCP ₀₅			0,52	0,24	9,80	1,26	*	0,27
супесчаные почвы (Мушмаринский лесопитомник)								
Контроль			4,1	0,9	7,6	19,5	15,9	0,17
120	0	-	5,9	0,8	10,1	36,1	14,6	0,16
120	100	-	7,5	0,6	11,3	38,3	13,7	0,13
120	200	-	6,6	0,7	11,7	30,9	13,6	0,16
120	400	-	8,9	0,7	15,3	24,6	13,0	0,15
HCP ₀₅			0,60	*	1,06	4,83	*	*
легкосуглинистые почвы (Мушмаринский лесопитомник)								
Контроль			2,1	1,4	8,6	12,9	76,8	1,9
120	-	-	3,7	1,1	25,4	15,6	83,2	3,2
HCP ₀₅			1,15	*	16,51	2,17	*	0,94
среднесуглинистые почвы (Мушмаринский лесопитомник)								
Контроль			3,3	3,8	20,2	17,9	11,8	1,9
0	-	450	2,0	2,1	14,5	15,2	9,5	7,3
120	-	0	5,4	0,7	40,3	27,6	12,1	7,4
120	-	450	3,0	0,5	27,1	18,5	9,5	4,6
HCP ₀₅			1,20	0,73	5,66	4,65	2,01	3,36

Примечание: * – различия на 5% уровне значимости не существенны ($F_{\text{факт.}} < F_{\text{табл.}}$).

Таблица 5

**Оптимальные дозы внесения нетрадиционных органических удобрений в дерново-подзолистые
почвы лесных питомников при выращивании сеянцев и саженцев хвойных пород**

Почвы	Оптимальная доза внесения НОУ, т/га		
	Сосна обыкновенная	Лиственница сибирская	Ель европейская
Песчаные	80-100	-	-
Супесчаные	50	-	-
Легкосуглинистые	100	150	50-80
Среднесуглинистые	-	-	150

Изменение физико-химических показателей почв лесных питомников при использовании мелиорантов, в том числе и нетрадиционных органических удобрений, оказывает влияние на рост сеянцев и саженцев древесных растений. Установлено, что с увеличением дозы внесения нетрадиционных удобрений возрастают

как линейные, так и весовые показатели выращиваемого посадочного материала. Однако после прохождения оптимума, значение которого зависит от вида древесных растений, типа почвы и характеристик нетрадиционных удобрений, начинается их снижение. Методом регрессионного анализа были установлены зави-

симости линейного роста и накопления биомассы отдельных органов молодых древесных растений от доз внесения НОУ в почву с использованием функции вида $y = kx^{(b-1)} \cdot \exp(-cx^b) + a$. По средним значениям оптимальных доз внесения были получены рекомендуемые дозы внесения нетрадиционных удобрений, обеспечивающих наиболее интенсивный рост посадочного материала основных лесобразующих пород и их выход с единицы площади посевного или школьного отделения лесного питомника (табл. 5).

Нетрадиционные органические удобрения получают путем смешения различных компонентов, различающихся по своим свойствам, с последующим компостированием. При этом, доля каждого компонента в компосте может зависеть от различных факторов: влажности отходов, содержания нежелательных ингредиентов (например, тяжелых металлов), питательных элементов, в первую очередь азота, соотношения в компостной смеси азота и углерода.

Исследованиями установлено, что эффективность нетрадиционных удобрений напрямую зависит от их состава. В

случае, если рецепт компостируемой смеси включает менее 29,6–50,9 % отходов, относящихся к категории II (субстрат), применение НОУ на легких по гранулометрическому составу почвах будет не эффективным (рис. 4). Отдельные органы сеянцев сосны отстают в росте и растения развиваются не гармонично.

При применении НОУ различного состава для мелиорации легкосуглинистых почв выявлено, что большей высотой стволика отличались двухлетние сеянцы сосны, выращенные на участках с внесением компоста, включающего 60 % отходов категории II. Они превышали высоту сеянцев, выращенных на контроле, в 1,4 и 1,3 раза при использовании компоста с 95 % отходов категории II (рис. 5). Максимальные значения диаметра шейки корня и текущего прироста также были у сеянцев, выращенных на участках с внесением нетрадиционного удобрения с 60 % отходов категории II. Существенных различий по длине корневой системы между вариантами опыта доказано не было ($t_{\text{факт.}} < t_{\text{табл.}}$), но наблюдается тенденция к ее увеличению при внесении НОУ с 60 % отходов категории II в составе.

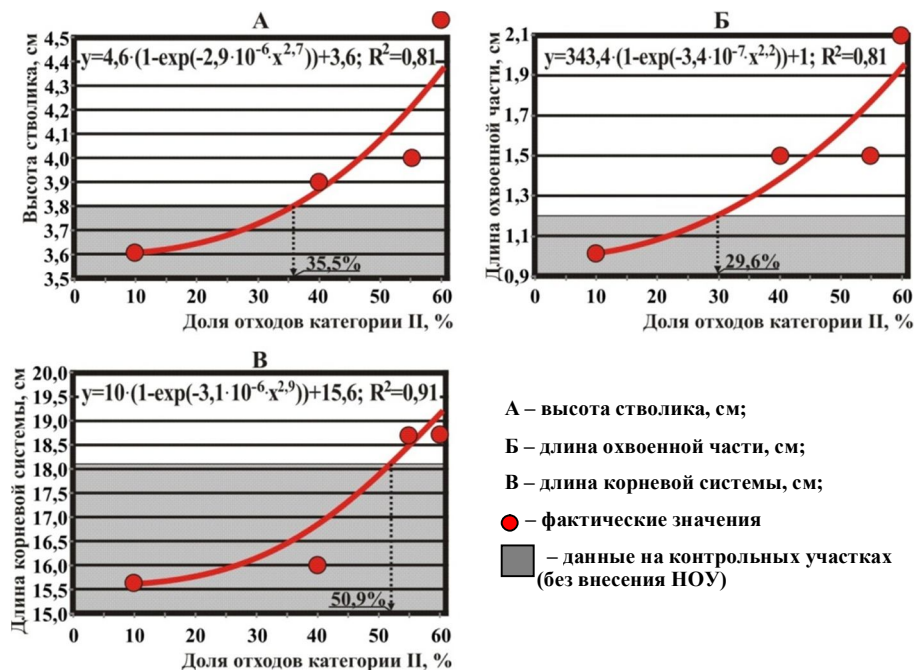
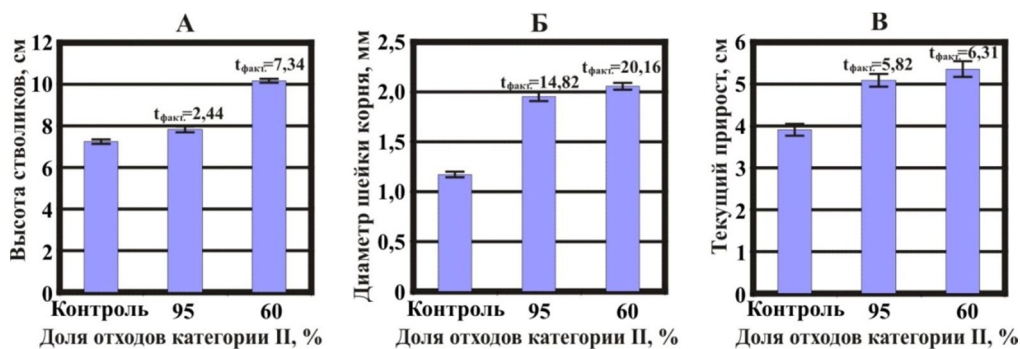


Рис. 4. Зависимость роста однолетних сеянцев сосны обыкновенной от доли отходов категории II в составе НОУ, вносимого в дозе 120 т/га в дерново-подзолистую песчаную почву (Кокшайский лесопитомник)



А – высота стволика, см; Б – диаметр шейки корня, мм; В – текущий прирост, см; — — — ошибка среднего (mx); t_{факт.} – фактический t-критерий Стьюдента при t_{табл.}=1,96

Рис. 5. Влияние внесения 120 т/га НОУ различного состава в дерново-подзолистую легкосуглинистую почву на рост сеянцев сосны обыкновенной (лесной питомник филиала ПГТУ «Учебно-опытный лесхоз»)

Таким образом, для мелиорации легких по гранулометрическому составу почв рекомендуется использовать компосты с содержанием отходов категории II (субстрата) не менее 50 %, а почв с высоким содержанием агрегатов, относящихся к илистой фракции, в составе компоста должно быть более 40 % отходов категории I (наполнителя). Это позволит оптимизировать свойства почвы и получать более гармонично развитый посадочный материал в лесных питомниках, а за счет этого обеспечивать высокую приживаемость и его ускоренный рост в культурах и на плантациях.

Совместное использование нетрадиционных органических удобрений и глины не оказало положительного влияния на рост сеянцев сосны. Установлено, что при внесении только НОУ сеянцы характеризуются максимальными размерами и массой по сравнению с другими вариантами опыта (рис. 6). Это объясняется тем, что выращивание древесных растений после внесения глины может успешно осуществляться только после завершения перестройки физико-химических свойств модифицированной почвы легкого гранулометрического состава в сторону их

большой оптимизации. Это происходит через 3–4 года после внесения глины [7], поэтому глинование легких по гранулометрическому составу почв целесообразно проводить за 3–4 года перед внесением нетрадиционных органических удобрений. При этом однократная доза внесения глины для супесчаных почв должна составлять 200 м³/га, песчаных – 350 м³/га, что выявлено регрессионным анализом.

Сложность выращивания посадочного материала на тяжелых почвах связана с их неблагоприятными водно-физическими свойствами и образованием трудно проницаемой для прорастания семян и роста растений почвенной корки. Внесение песка позволило несколько увеличить процент проросших семян, однако существенность различия на данных участках по сравнению с контролем не доказана. Достоверное на 5 %-ном уровне значимости ($F_{\text{расч.}} = 5,16 > F_{\text{табл.}} = 3,23$) превышение грунтовой всхожести относительно контроля отмечено в вариантах с внесением 120 т/га НОУ и НОУ с 450 м³ песка. При комплексном использовании мелиорантов в результате улучшения водно-физических свойств пахотного горизонта почвы отмечено наибольшее количество проросших семян.

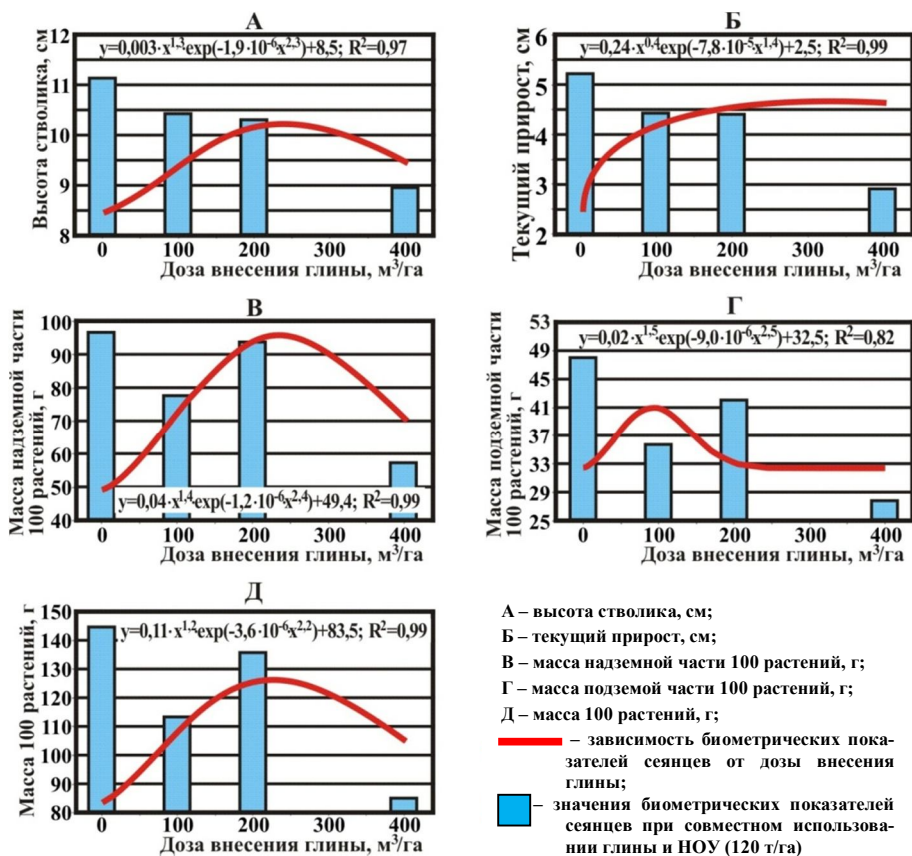


Рис. 6. Влияние внесения глины и глины совместно с НОУ (на основе ГЛ и ОСВ) в дерново-подзолистую супесчаную почву на рост двухлетних сеянцев сосны обыкновенной (Мушмаринский лесопитомник)

Таблица 6

Влияние приемов мелиорации на рост однолетних сеянцев ели европейской (Мушмаринский лесопитомник)

Вариант опыта	Линейные показатели		Масса сухого вещества 100 шт., г	
	высота стволика, мм	длина охвоенной части, мм	надземной части	подземной части
Контроль	35	5,0	1,48	0,55
Песок, 450 м³/га	32	5,2	1,64	0,66
НОУ, 120 т/га	40	5,4	1,74	0,64
НОУ + песок	42	7,4	1,77	0,91
HCP_{05}	4,3	0,68	0,196	0,218

Почвы тяжелого гранулометрического состава неблагоприятно воздействуют не только на прорастание семян, но и на рост растений. Это, прежде всего, связано с повышенной плотностью сложения пахотного горизонта и низкой степенью воздухообмена, поэтому рост корневых систем сеянцев в данных условиях сильно затруднен, что и отражается на развитии всего растения в целом. Приемы мелиорации достоверно на 5 %-ном уровне значимости повлияли на

биометрические показатели однолетних сеянцев ели (табл. 6). Внесение одного песка не привело к существенному изменению линейных размеров и веса отдельных органов растений. Причиной этого было снижение содержания в пахотном горизонте почвы элементов минерального питания. Использование такого агроприема, как внесение нетрадиционного удобрения дозой 120 т/га, позволило получить сеянцы, у которых высота стволика была на 14,3 %, а

длина корня на 21,3 % больше, чем на контроле. Существенно увеличилась масса как надземной, так и подземной частей растений. Совместное внесение нетрадиционного удобрения и песка, благодаря оптимизации агрофизических и агрохимических свойств дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы, еще более стимулировало рост сеянцев ели. Общая длина стволика и стержневого корня увеличились в 1,2 раза.

Таким образом, изменение плодородия дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы в результате внесения нетрадиционных органических удобрений и песка существенно повышает размеры сеянцев древесных растений и увеличивает выход стандартного лесопосадочного материала с единицы площади. Использование одного песка при мелиорации среднесуглинистой почвы не приводит к увеличению размеров и накоплению сухого вещества органами сеянцев ели, а даже, напротив, наблюдается тенденция к их снижению, поэтому целесообразнее применение данного агроприема в комплексе с нетрадиционными удобрениями, так как при этом были получены сеянцы с наибольшими значениями как линейных, так и весовых показателей.

Выводы

1. При внесении в дерново-подзолистые почвы нетрадиционных органических удобрений, в состав которых входят компоненты, содержащие соли тяжелых металлов, происходит некоторое увеличение их содержания в пахотном горизонте, хотя превышение уровня ПДК не установлено. Большая часть соединений ТМ концентрируется в верхних горизонтах почвы. После внесения данных удобрений проникновение ТМ установлено лишь до глубины 60 см. При выкопке происходит их вынос с сеянцами и почвой на корнях и таким образом происходит ее самоочищение.

2. При повышении дозы внесения нетрадиционных удобрений происходит улучшение практически всех основных показателей почвенного плодородия дер-

ново-подзолистых почв. Эффективность нетрадиционных органических удобрений зависит от их состава, физико-химических характеристик исходных компонентов, дозы внесения, а также исходного плодородия мелиорируемых почв. Плотность сложения почвы достигает оптимальных значений при внесении 120–240 т/га мелиоранта. Большинство агрохимических показателей почв достигают близких к оптимуму значений при дозе внесения 80–120 т/га НОУ.

3. Эффективность применения нетрадиционных органических удобрений повышается при их комплексном использовании с другими мелиорантами. Совместное использование НОУ и песка позволяет добиться оптимизации практически всех показателей почвенного плодородия дерново-подзолистых среднесуглинистых почв, а НОУ и глины – почв легкого гранулометрического состава.

4. Оптимальная доза внесения нетрадиционного удобрения зависит от гранулометрического состава почвы. Для суглинистых почв доза внесения может быть повышена при увеличении содержания в ней частиц илистой фракции, для почв легкого гранулометрического состава – со снижением содержания элементов минерального питания растений и органического вещества. Для ели европейской, выращиваемой на легкосуглинистой почве, она составляет 50–80 т/га, а среднесуглинистой – 150–180 т/га. При выращивании сосны обыкновенной на супесчаной почве оптимальная доза НОУ составляет 50 т/га, а на песчаной и легкосуглинистой может быть увеличена до 100 т/га. При выращивании посадочного материала лиственницы сибирской на легкосуглинистой почве доза внесения НОУ должна составлять 150 т/га.

5. Нетрадиционные органические удобрения нужно применять с учетом их состава. Для мелиорации легких по гранулометрическому составу почв рекомендуется использовать компосты с содержа-

ем отходов категории II (субстраты) более 50 % (по массе), а почв с высоким содержанием агрегатов, относящихся к илистой фракции, в составе компоста должно быть более 40 % (по массе) отходов категории I (наполнители). Это позволит оптимизировать свойства почвы и получать более развитый посадочный материал в посевных и школьных отделениях лесных питомников.

6. Для восстановления плодородия почв лесных питомников необходимо рекомендовать проведение комплексной мелиорации. При этом следует вносить органические удобрения, в том числе на основе органических отходов, минеральных удобрений, известковых материалов, а также глины в почвы легкого гранулометрического состава, или песка в суглинистые почвы.

Для увеличения содержания илистых частиц в почвах легкого гранулометрического состава требуются большие объемы глины, но вносить ее в один прием неэффективно. При внесении в сидеральный

пар однократная доза глинистого субстрата с содержанием фракции «физическая глина» 40–50 % на фоне органики не должна превышать на супесчаных почвах – 200 м³/га, а песчаных – 350 м³/га.

Изменение плодородия дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы в результате внесения нетрадиционных органических удобрений и песка существенно повышает размеры сеянцев древесных растений, что в свою очередь сказывается на увеличении выхода стандартного лесопосадочного материала с единицы площади. Использование одного песка при мелиорации среднесуглинистой почвы не приводит к увеличению размеров и накоплению сухого вещества органами растений, а даже, напротив, наблюдается тенденция к их снижению, поэтому целесообразнее применение данного агроприема в комплексе с нетрадиционными удобрениями, так как при их совместном внесении были получены сеянцы с наибольшими значениями как линейных, так и весовых показателей.

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

Список литературы

1. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации [Электронный ресурс]: Государственный доклад. – Режим доступа: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1101> (дата обращения: 10.05.2013).
2. Романов, Е.М. Использование органических отходов в лесном хозяйстве / Е.М. Романов, Д.И. Мухортов // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2007. – № 1. – С. 22–29.
3. Кречетова, Н.В. Формирование корневых систем в лесных культурах: Учеб. пособие / Н. В. Кречетова. – Йошкар-Ола: МарПИ, 1990. – 80 с.
4. Русаков, Н.В. Эколого-гигиенические условия использования осадков сточных вод в земледелии / Н.В. Русаков, Г.Е. Мерзлая,

References

1. O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii [On Condition and Protection of Environment in the Russian Federation]. Gosudarstvennyj doklad [Official report]. URL: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1101> (Reference date: 10.05.2013).
2. Romanov E.M., Mukhortov D.I. Ispolzovanie organicheskikh othodov v lesnom hozyaystve [Organic Wastes Usage in Forestry]. Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya «Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie» [Vestnik of Mari State Technical University. Series «Forest. Ecology. Nature Management»]. 2007. No 1. P. 22–29.
3. Krechetova N.V. Formirovanie kornevykh sistem v lesnykh kulturakh [Root System Formation in Artificial Stands]. Study guide. Yoshkar-Ola, MarPI Publ., 1990. 80 p.
4. Rusakov N.V., Merzlaya G.E., Afanasev R.A., Romanenko R.A., Novoseltsev G.I. Ekologo-gigienicheskie usloviya ispolzovaniya osadkov sto-

Р.А. Афанасьев, Р.А. Романенко, Г.И. Новосельцев
// Гигиена и санитария. – 1995. – № 4 – С. 6-9.

5. Романов, Е.М. Оптимизация технологических параметров производства нетрадиционных органических удобрений в лесных питомниках / Е.М. Романов, Д.И. Мухортов, А.А. Мамаев // Лесное хозяйство. – 2011. – № 3 – С. 21-23.

6. Окультуривание и повышение плодородия почв лесных питомников Европейской части России (Практические рекомендации) / В.Н. Кураев, Л.И. Баркова. – М.: Федеральная служба лесного хозяйства России, 1994. – 71 с.

7. Родин, С.А. Оптимизация физико-механических свойств лесных питомников/ С.А. Родин, А.И. Угаров. – Саратов: Саратов. гос. с.-х. акад. им. Н.И. Вавилова, 1997. – 4 с

chnykh vod v zemledelii [Eco- Sanitary Conditions of Sludges Use in Agriculture]. Gigena i sanitariya [Hygiene and Sanitary]. 1995. No 4. P. 6-9.

5. Romanov E.M., Mukhortov D.I., Mamaev A.A. Optimizatsiya tekhnologicheskikh parametrov proizvodstva netraditsionnykh organicheskikh udobreniy v lesnykh pitomnikakh [Optimization of Technological Parameters of Production in Forest Nurseries]. Lesnoe hozyaystvo [Forestry]. 2011. No 3 P.21-23.

6. Kuraev V.N., Barkova L.I. Okultiviranie i povyshenie plodorodiya pochv lesnykh pitomnikov Evropeyskoy chasti Rossii (Prakticheskie rekomendatsii) [Soil Improvement and Increase of its Fertility in Forest Nurseries of the European Russia (Practical recommendations)]. Moscow, 1994. 71 p.

7. Rodin S.A., Ugarov A.I. Optimizatsiya fiziko-mekhanicheskikh svoystv lesnykh pitomnikov [Optimization of Physical and Mechanical Properties of Forest Nurseries]. Saratov: Saratov. gos. s.-h. akad. im. N.I. Vavilova, 1997. 4 p.

Статья поступила в редакцию 14.05.13.

РОМАНОВ Евгений Михайлович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ, ректор, Поволжский государственный технологический университет (Российская Федерация, Йошкар-Ола). Область научных интересов – искусственное лесовосстановление. Автор более 150 публикаций.

E-mail: romanovem@volgatech.net

МУХОРТОВ Дмитрий Иванович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ, Поволжский государственный технологический университет (Российская Федерация, Йошкар-Ола). Область научных интересов – применение органических отходов при лесовосстановлении. Автор 92 публикаций.

E-mail: muhortovdi@volgatech.net

НУРЕЕВА Татьяна Владимировна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ, Поволжский государственный технологический университет (Российская Федерация, Йошкар-Ола). Область научных интересов – искусственное лесовосстановление и лесоразведение. Автор 53 публикаций.

E-mail: nureevatv@volgatech.net

ROMANOV Evgeny Mikhaylovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor at the Chair of Forest Plantations and Mechanization of Forestry Works, Rector, Volga State University of Technology (Russian Federation, Yoshkar-Ola). Research interests – artificial forest regeneration. The author of more than 150 publications.

E-mail: romanovem@volgatech.net

MUKHORTOV Dmitry Ivanovich – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at the Chair of Forest Plantations and Mechanization of Forestry Works, Volga State University of Technology (Russian Federation, Yoshkar-Ola). Research interests – organic wastes usage in forest regeneration. The author of 92 publications.

E-mail: muhortovdi@volgatech.net

NUREEVA Tatiana Vladimirovna – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at the Chair of Forest Plantations and Mechanization of Forestry Works, Volga State University of Technology (Russian Federation, Yoshkar-Ola). Research interests – artificial forest regeneration and forest cultivation. The author of 53 publications.

E-mail: nureevatv@volgatech.net

E. M. Romanov, D. I. Mukhortov, T. V. Nureeva

MELIORATION OF SOILS IN FOREST NURSERY WITH THE USE OF NON-TRADITIONAL ORGANIC FERTILIZERS

Key words: forest nurseries; soil melioration; non-traditional organic fertilizers; seedlings; saplings.

It is important to reclaim degraded soils in forest nurseries to get quality planting material. Organic wastes and fertilizers on their base may be used for it. The aim of the research is to evaluate the effectiveness of influence of non-traditional fertilizers on the basis of organic waste on fertility of sod-podzolic soils, growth of seedlings and saplings of trees in forest nurseries.

In the course of the research such problems as influence of non-conventional fertilizers on properties of sod-podzolic soils were studied. Use of non-conventional fertilizers does not lead to accumulation of heavy metals in the soil and it improves water and physical and agrochemical properties of the plow layer. The effectiveness of non-conventional fertilizers depends on their composition, physical and chemical characteristics of the primary components, rate of application, initial soil fertility. Sharing of a non-traditional fertilizer and sand allows for optimization of almost all indicators of soil fertility of medium loamy soils, sharing of non-traditional fertilizers and clay allows for optimization of almost all indicators of soil fertility of light soils.

An optimum dose of application of non-traditional fertilizer depends on soil texture, type of trees and composition of the fertilizer. It is 50-80 tons / ha for Norway Spruce in light loamy soils, 149-182 tons / ha - in medium loamy soils. It is 50 tons / ha for Scotch Pine in sandy clay soil, 100 tons / ha in sandy and light loamy soil. It is 150 tons / ha for Siberian Larch in the light loamy soil. For amelioration of light in soil texture soils it is recommended to use composts containing more than 50% (by weight) of the wastes of category II (substrate). There should be over 40% (by weight) of heavy soils in the compost of the waste of category I (filler). This will optimize the properties of soil and let grow better seedlings in the nurseries.

УДК 630*587.2:691.316

**Э. А. Курбанов, О. Н. Воробьев,
Ю. А. Полевщикова, С. А. Незамаев, Е. Н. Демишева**

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ПРИ ДЕШИФРИРОВАНИИ ДРЕВОСТОЕВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ОТХОДАМИ СИЛИКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Для оценки степени загрязнения лесных насаждений отходами силикатного производства в Республике Марий Эл использованы спутниковые снимки высокого разрешения ALOS и RapidEye. С целью повышения разделимости на спутниковых снимках классов лесного покрова, загрязненных известковой пылью, применен алгоритм линейной трансформации MNF (minimal noise fraction). Лучшие результаты неуправляемой классификации были получены для снимка RapidEye, на основе которого разработаны тематические карты загрязненных лесных насаждений. Точность результатов тематического картирования подтверждается критериями геостатистики.

Ключевые слова: дистанционное зондирование; лесные насаждения; техногенное загрязнение территории; силикатное производство; спутниковые снимки; трансформация изображений.

Введение. Техногенное загрязнение территорий и производство вредных отходов может существенно влиять на окружающую среду и жизнь человека. Это может выражаться в различных последствиях – от нарушения жизнеспособности отдельных участков растительности и загрязнения водных ресурсов, до разрушительного эффекта на региональные экосистемы через загрязнение атмосферы. Долгосрочный наземный мониторинг воздействия техногенных загрязнений на окружающую среду считается дорогостоящим процессом, что приводит к повышению роли альтернативных вариантов мониторинга экосистем, к которым в последние годы относится дистанционное зондирование земли. Об этом также свидетельствует анализ отечественных и зарубежных научных публикаций.

В центральной части Исламской Республики Иран было проведено исследова-

ние влияния выбросов медного производства на повреждение растительного покрова с использованием разновременных данных спутника Landsat [1]. Данные дистанционного зондирования были использованы при оценке общей наземной биомассы городских лесов, которая в свою очередь в дальнейшем была использована для оценки замещения воздушных частиц в городской черте листовой пылью [2].

Регрессионный анализ показал высокую точность (до 85 %) при оценке воздействия загрязнения воздуха выхлопными газами (NO) автомобильного транспорта в эпидемиологических исследованиях [3]. В качестве одного из компонентов уравнений были использованы показатели зелени (greenness) и яркости (brightness) почв, полученные по данным дистанционного зондирования. Эти показатели имели высокую корреляцию с данными концентрации газов NO_x вдоль автомобильных дорог.

Исследования, основанные на совмещении описательных статистик и кластерного анализа методом к-средних данных NDVI, показали, что нарушение растительного покрова хорошо прослеживается в сторону преобладающего направления ветров. Одной из современных причин нарушений (ухудшения состояния) растительного покрова во всем мире является загрязнение воздушного пространства. Высокая концентрация токсических соединений и других элементов наблюдается в почвах и растительности вблизи от металлургических и нефтеперерабатывающих предприятий, а также химических комбинатов [4–7]. При этом в последние годы оценка воздействия этих процессов на растительный покров эффективно отслеживается при помощи данных дистанционного зондирования. Анализ мультиспектральных изображений и различные методы выявления изменений позволяют оценить процессы нарушения экосистем в исторической динамике и значительно сократить затраты на проведение полевых исследований [8].

Многочисленными исследованиями было выявлено, что стресс и снижение жизнеспособности растительности влияет на их спектральные характеристики, которые имеют тенденции снижения в ближней инфракрасной зоне спектра (NIR) и повышения в видимой зоне [9]. Для изучения состояния растительности обычно применяются различные вегетационные индексы, имеющие тесную корреляцию с содержанием хлорофилла, листовой поверхностью, фотосинтетической активностью и потоками углерода [10, 11]. Из всех вегетационных индексов наиболее широкое применение нашел нормализованный разностный индекс растительности NDVI [12–14].

Китайские ученые предложили биогеохимическую модель дистанционного зондирования для изучения окружающей среды и природных ресурсов [15]. По данным радиометра MODIS (Moderate

Resolution Imaging Spectroradiometer) были определены временная изменчивость и пространственное распределение оптической глубины аэрозолей (Aerosol optical depth) между 2003 и 2008 гг. в китайской провинции Хубей [16]. На основе самоорганизующихся карт (Self-organizing maps) и линейных моделей в дальнейшем была проанализирована взаимосвязь между оптической глубиной аэрозолей, NDVI, рельефом местности и плотностью населения. Результаты свидетельствуют о том, что высокие показатели оптической глубины аэрозолей наблюдались в юго-центральной части Китая, которая характеризуется небольшими превышениями на местности, низкими показателями NDVI и высокой плотностью населения. При этом китайские ученые установили, что наибольшее влияние на оптическую глубину аэрозолей оказывает рельеф (превышения на местности). Другие исследователи считают, что на оптическую глубину аэрозолей также влияют климат и социально-экономическая активность в изучаемой местности [17, 18]. Однако спутниковые данные подвержены ошибкам в связи с калибровкой сенсоров, атмосферными шумами или влиянием атмосферных аэрозолей и облаков. В связи с этим для повышения точности исследований динамики фенологии растительности на спутниковых изображениях требуется подтверждение этих данных на основе постоянных и долгосрочных наземных работ [19, 20].

Ученые из университетов Йокохамы и Тсукубы [21], оценившие четыре вегетационных индекса и фенологическое состояние древесного полога хвойных лесов Японии, пришли к выводу о том, что при изучении сезонных изменений фотосинтетической производительности лесов более информативным является индекс GRVI (Вегетационный индекс соотношения зеленого и красного – green-red ratio vegetation index). В изучаемых хвойных лесах Японии отражательные характери-

стики зеленого и красного каналов сильно зависят от изменений в пигментной составляющей кроны деревьев.

Канадские ученые провели оценку корреляции между водонепроницаемыми поверхностями (impervious surfaces) и соединениями хлоридов, возникающих при использовании соли для дорог [22]. Для этого они применили технику неуправляемой классификации на серии разновременных спутниковых снимков Landsat, что позволило определить точные площади на территории исследований. Данные по загрязненности территории хлоридами выявляли наземными работами. Исследования показали увеличение концентрации хлоридов в три раза на водонепроницаемых поверхностях между 1990 и 2005 гг., что также влияет на качество поверхностных вод.

В последние годы для изучения нарушений, происходящих в лесных насаждениях, были разработаны несколько методик по выявлению изменений (change detection) на основе разновременных изображений спутника Landsat [23–27]. Эти алгоритмы демонстрируют высокую автоматизацию при дешифрировании изменений в лесах, а также меньшую чувствительность к помехам в результате регистрации изображений, сезонным эффектам и двулучевой функции отражательной способности (Bidirectional Reflectance Distribution Function – BRDF). Несмотря на то, что такие новые индексы, как лесной интегрированный Z-значения (Integrated Forest Z-score, IFZ) [28] и индекс нарушенности (Disturbance Index, DI) [29, 30] также могут снижать влияние на изображение, фенологию и BRDF путем их нормализации через ранее полученные полевые данные, они могут иметь проблемы при обработке данных, полученных в разные вегетационные сезоны, или расположенных в пределах разнородных площадей, на которых произрастают хвойные и широколиственные леса [31].

Таким образом, технологии дистанционного зондирования могут обеспечить

наземной оценке альтернативный и автоматический мониторинг за нарушением и гибелью растительности [32–34].

Целью работы была разработка и апробация методики идентификации площадей лесных насаждений, загрязненных отходами силикатного производства ЗАО «Марийский завод силикатного кирпича» (ЗАО «МЗСК»), по мультиспектральным изображениям высокого разрешения, для достижения которой решены следующие **задачи**:

- заложены тестовые участки в лесных насаждениях на территории, прилегающей к ЗАО «МЗСК», с описанием степени их загрязнения известковой пылью;
- проведено линейное трансформирование снимков высокого пространственного разрешения Alos и Rapid Eye по алгоритму MNF;
- разработана методика анализа мультиспектральных спутниковых снимков и тематического картирования для оценки площади загрязнения выбросами известковой пыли.

Техника эксперимента и методика исследований. Объектами исследования явились лесные насаждения, расположенные на сопредельной территории с ЗАО «МЗСК», являющегося одним из ведущих предприятий по производству строительных материалов в Республике Марий Эл с 1953 года. Производственная мощность предприятия составляет 100 млн. шт. кирпича и 20 тыс. м³ газосиликатных блоков в год. Продукция востребована всеми строительными организациями Республики Марий Эл. Большим спросом продукция завода также пользуется в других регионах России – Татарстане, Чувашии, Нижегородской, Кировской, Костромской, Московской областях. Между тем завод является одним из загрязнителей атмосферы и приграничных лесных экосистем в Медведевском районе Республики Марий Эл [35]. Основным компонентом выбросов этого предприятия является оксид кальция (из-

весть негашеная), пыль известняка и диоксида кремния [36].

Характеристика экспериментальных данных. Для исследования и тематического картирования загрязнённой местности использовались разновременные мультиспектральные спутниковые снимки высокого пространственного разрешения ALOS и RapidEye. Снимки прошли процедуру геометрической и радиометрической калибровки. Для формирования однородных изображений на изучаемую территорию для обоих снимков была проведена атмосферная коррекция в модуле FLAASH в программном комплексе ENVI-5.0. Оба снимка были приведены к единой системе координат (WGS84, zone 38N) (табл. 1).

Методика. Геопространственная при-

вязка тестовых участков и трансект изучаемых объектов на спутниковых сценах проводилась по координатам GPS и хорошо опознаваемым точкам на местности (опушки леса, пересечение дорог и т. п.) (рис. 1). Вблизи от ЗАО «МЗСК» были заложены тестовые участки, на которых определялись основные таксационные показатели древостоя. Оценка санитарного состояния древостоя по характерным признакам изменений и степени деградации определялась на основе существующих нормативов [37]. Степень загрязнения лесного покрова известковой пылью от ЗАО «МЗСК» оценивалась визуально по 3 классам: 1 – сплошное покрытие известковой пылью, 2 – частичное покрытие (50–70 % растительности), 3 – отсутствие покрытия (рис. 2).

Таблица 1

Характеристика используемых спутниковых снимков

Спутник	Время съемки	Пространственное разрешение, м	Формат снимка	Облачность
Alos	Июнь 2010 г.	10	GeoTiff	5 %
RapidEye	Июль 2011 г.	5	GeoTiff	Отсутствует

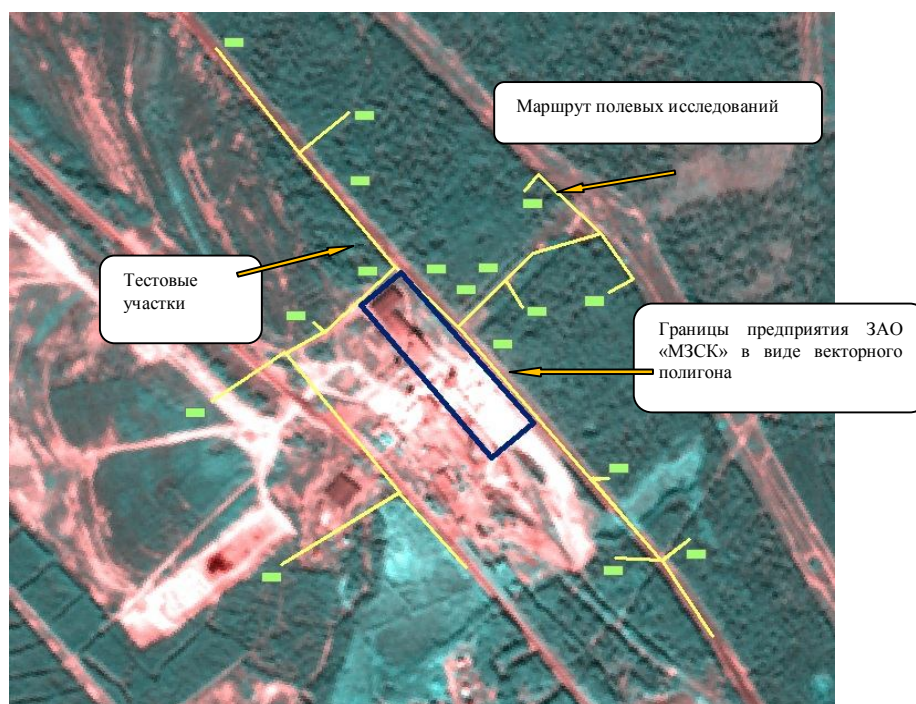


Рис. 1. Фрагмент синтезированного изображения RapidEye 2011 г. в псевдоцветах (RED+NIR) на территорию ЗАО «МЗСК» и прилегающие лесные насаждения



Рис. 2. Степень покрытия известковой пылью сосновых насаждений вблизи от ЗАО «МЗСК»: а) 1 класс – сплошное, б) 2 класс – частичное

Синтез изображений, оценка спектральных характеристик тестируемых участков, управляемая и неуправляемая классификация, оценка точности тематического картирования проводились в программных комплексах ENVI-5.0 и Arc GIS-10.0. В работе использованы статистические методы оценки полученных результатов, наиболее точно представляющие динамику и границы распределения загрязнения в пределах исследуемой территории.

Оценка загрязнения лесных насаждений отходами силикатного производства в виде известковой пыли по снимкам разного пространственного разрешения состояла из следующих этапов:

- обработка спутниковых изображений с использованием алгоритма спектральной трансформации (минимизации) шумовых помех MNF (Minimum noise fraction) в модуле Forward MNF программного комплекса ENVI-5.0;
- обработка снимка RapidEye с помощью алгоритма «Estimate noise statistics from data» (оценка статистики шумов по данным) в программном комплексе ENVI-5.0;
- графическая и статистическая оценка спектральной разделимости классов лесного покрова, подвергнувшихся загрязнению известковой пылью, на изучаемых спутниковых снимках;

- проведение неуправляемой классификации для трансформированных спутниковых изображений ALOS и Rapid Eye, оценка точности результатов тематического картирования;

- формирование полигона санитарно-защитной зоны (СЗЗ) вокруг объекта исследования с целью анализа пространственного распределения участков загрязнения на снимке RapidEye.

Обработка изображений с использованием алгоритма спектральной трансформации (минимизации) шумовых помех MNF. Одним из важных моментов точного дешифрирования лесных участков, загрязненных выбросами промышленных отходов, является выявление их в виде тематических классов на спутниковом снимке. Стандартные методы управляемой и неуправляемой классификации не позволяют выполнить эту задачу. В связи с этим в работе был использован дополнительный модуль комплексного пакета ENVI-5.0 MNF (Minimum noise fraction), представляющий собой алгоритм спектральной трансформации (минимизации) шумовых помех. Этот алгоритм обычно применяется для оценки наземных экосистем, находящихся в стрессовых ситуациях. Процедура MNF трансформации предшествует классификации изображений и представляет собой линейное ре-

грессионное выравнивание (нормализацию) спектральных каналов спутникового снимка. При этом достигается минимизация шумовых показателей (перемешивание спектральных значений) и сжатие большого объема спектральных данных спутникового изображения, что облегчает процесс классификации и дальнейшей идентификации исследуемых объектов [38].

Для более детального выявления участков леса различной степени загрязнения известковой пылью был также использован алгоритм «Estimate noise statistics from data» (оценка статистик шумов по данным) программного комплекса ENVI-5.0. Этот алгоритм позволяет выявлять «шумы», которые в некоторых случаях не проявляются при работе со спутниковым изображением. Известно, что каждый пиксель изображения имеет два значения – сигнал и «шум», в то же время соседний пиксель, обладая схожим сигналом, может иметь разные характеристики «шума». Соответственно оценка этих ха-

рактеристик осуществляется на основе разницы средних значений соседних пикселей, расположенных справа и выше каждого оцениваемого пикселя. Считается, что лучшие результаты по выявлению «шума» и основного сигнала получаются при оценке разницы статистических данных, взятых из однородной области, а не от всего изображения [39]. Таким образом, алгоритм «Оценка статистик шумов по данным» позволяет повысить точность тематического картирования и, соответственно, определять «невидимые» при обычной классификации объекты на местности.

С целью предварительной оценки разделимости классов наземного покрова изучаемой территории, выровненных по алгоритму MNF трансформации, на спутниковых изображениях ALOS и RapidEye были выделены полигоны для обучающей выборки на основе учетных площадок, заложенных во время полевых исследований (рис. 3).

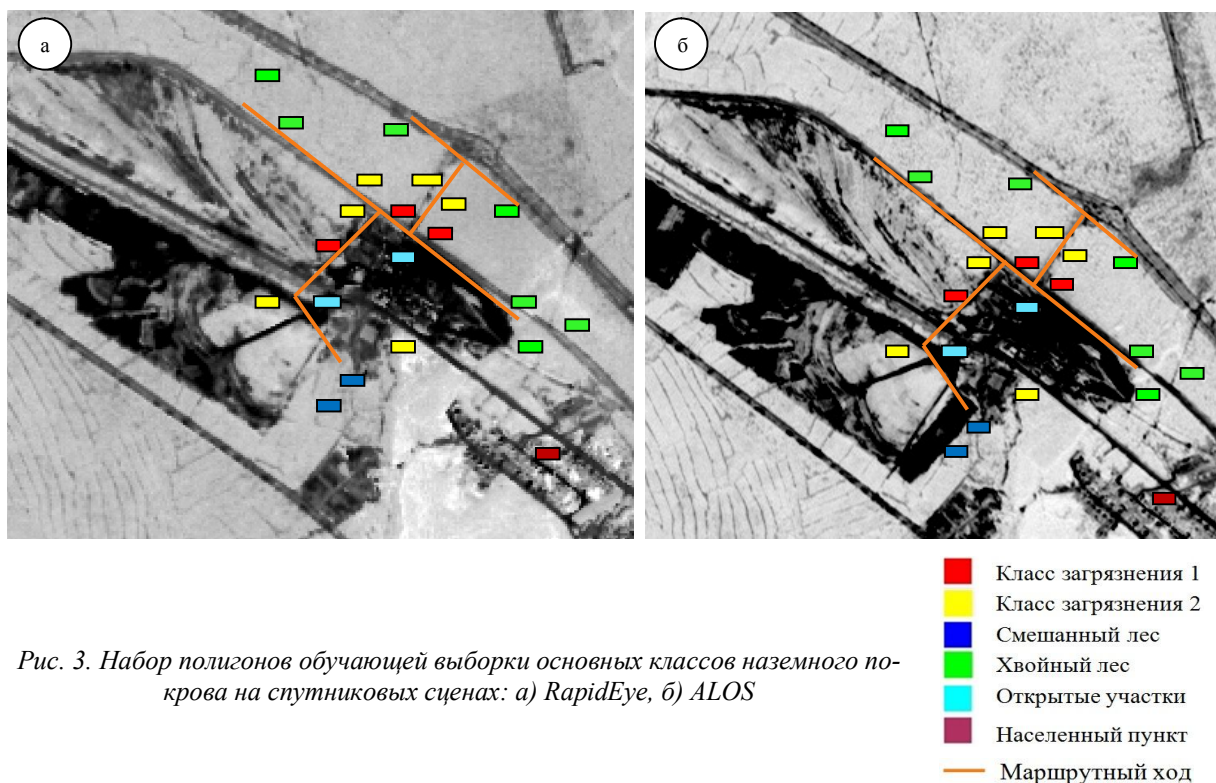


Рис. 3. Набор полигонов обучающей выборки основных классов наземного покрова на спутниковых сценах: а) RapidEye, б) ALOS

Предварительная оценка разделимости спектральных классов на изучаемых изображениях проводилась в n-D визуализаторе (n-D Visualization) программы ENVI-5.0, где n – это количество каналов, участвующих в анализе. Каждый из исследуемых классов может быть представлен в виде облака точек в пространстве диаграммы рассеивания спектральных значений. Координаты точек в n-пространстве признаков представляют собой спектральные значения пикселей изучаемого канала. Распределение этих точек в n-D пространстве признаков позволяет проводить оценку количества пикселей каждого исследуемого класса наземного покрова и спектральных различий между ними на основе степени перекрытий этих облаков. Одновременно проводилась визуальная оценка разделимости классов на основе Z - профиля значений спектральных характеристик, полученных в результате MNF-трансформации спутниковых изображений.

После MNF-трансформации, предварительной оценки разделимости классов на спутниковых снимках и использования алгоритма «Estimate noise statistics from data» (оценка статистик шумов по данным) для трансформированных изображений была проведена стандартная неуправляемая классификация по алгоритму ISO-DATA. Оценка точности классификации спутниковых изображений проводилась на основе матрицы различий (Confusion Matrix) и коэффициента Каппа (Kappa Index) [40].

Пространственный анализ распространения загрязнения лесного покрова известковой пылью проводился для прилегающих насаждений и двух *санитарно-защитных зон (СЗЗ)* ЗАО «МЗСК». Согласно существующим нормативам [41, 42], исходный радиус СЗЗ для завода должен составлять не менее 300 м. С целью более полной оценки загрязнения лесных насаждений отходами силикатного производства в работе были использо-

ваны два радиуса (300 и 500 м) СЗЗ вокруг ЗАО «МЗСК». Форма полигона СЗЗ на тематической карте устанавливалась с учетом диаграммы розы ветров [43].

Результаты исследований. MNF-трансформация, графический и статистический анализ спектральных данных спутниковых изображений показали, что лучшие результаты по разделимости классов наземного покрова и степени загрязнения лесного покрова известковой пылью получены на спутниковом снимке RapidEye. Как видно из рис. 4, б и 5, б, для спутникового изображения RapidEye исследуемые классы растительного покрова обладают ярко выраженными спектральными характеристиками, что свидетельствует о высоком уровне их разделимости на тематической карте. В то же время классы растительного покрова на снимке ALOS (рис. 4, а и 5, а) имеют тенденцию к смешиванию, что также подтверждается более высокими значениями дисперсии и средних значений спектральных характеристик классов 1 и 2 на этих снимках по сравнению с данными RapidEye (табл. 2). Как видно из таблицы 2, стандартные отклонения каналов RED и NIR снимку ALOS значительно превышают значения, полученные по снимку Rapid Eye.

Последующая неуправляемая классификация также подтвердила невозможность выделения класса 2 на спутниковом изображении ALOS, трансформированном по алгоритму MNF. На тематической карте этого спутникового изображения удалось выделить только класс 1, соответствующий участкам максимальных загрязнений выбросами известковой пыли (рис. 6, а), в то время как на спутниковом снимке RapidEye были хорошо выделены оба класса лесного покрова максимальной и средней степени загрязнения известковой пылью (рис. 6, б). В связи с этим в дальнейших исследованиях по оценке степени и площади загрязнения лесных насаждений вокруг ЗАО «МЗСК» был использован спутниковый снимок RapidEye.

Точность проведенной оценки площадей загрязнений на полученной тематической карте подтверждается высоким значением коэффициента Каппа (0,82), что свидетельствует о значительном соответствии проведенной классификации полевым (эталонным) данным.

Анализ тематической карты, созданной на основе спутникового снимка RapidEye для 5 классов наземного покрова, свидетельствует о значительной площади загрязнений лесных насаждений известковой пылью. При этом загрязнение распространяется на лесные насаждения, расположенные даже за пределами 500 м СЗЗ. На рис. 7 хорошо видны отдельные фрагменты загрязнений средней степени (класс 2), расположенные далеко от их источника. Максимальная концентрация загрязнений лесного полога приходится на 300 и 500 м СЗЗ вокруг ЗАО «МЗСК». В пределах 300 и 500 м СЗЗ преобладающим является класс 2 (средней степени загрязнения) (табл. 3). Для 300 м СЗЗ ЗАО «МЗСК» сумма 1 и 2 классов загрязнений составляет 51 % от площади лесных насаждений, в то время как для 500 м СЗЗ это значение доходит до 26,5 %. Основное

пространственное распространение известковой пыли на лесные насаждения наблюдается в северо-западном направлении, что также соответствует розе ветров исследуемой территории. Следует отметить, что полученная тематическая карта пространственного распределения участков загрязнений является результатом влияния промышленных выбросов производства силикатного кирпича на окружающие древостои в течение длительного периода времени. За 60 лет существования ЗАО «МЗСК» окружающие древостои подвергались интенсивному воздействию выбросов известковой пыли и других загрязнителей, особенно в пределах 300 м СЗЗ.

Большая концентрация участков загрязнения класса 1 (максимально загрязненные участки) наблюдается вдоль периметра всего завода. Тем не менее, их можно обнаружить на тематической карте (рис. 7) и за пределами двух СЗЗ предприятия. Это связано с тем, что движение облака известковой пыли зависит от многих факторов: плотности выброса, силы ветра, влажности и других естественных и физических природных условий.

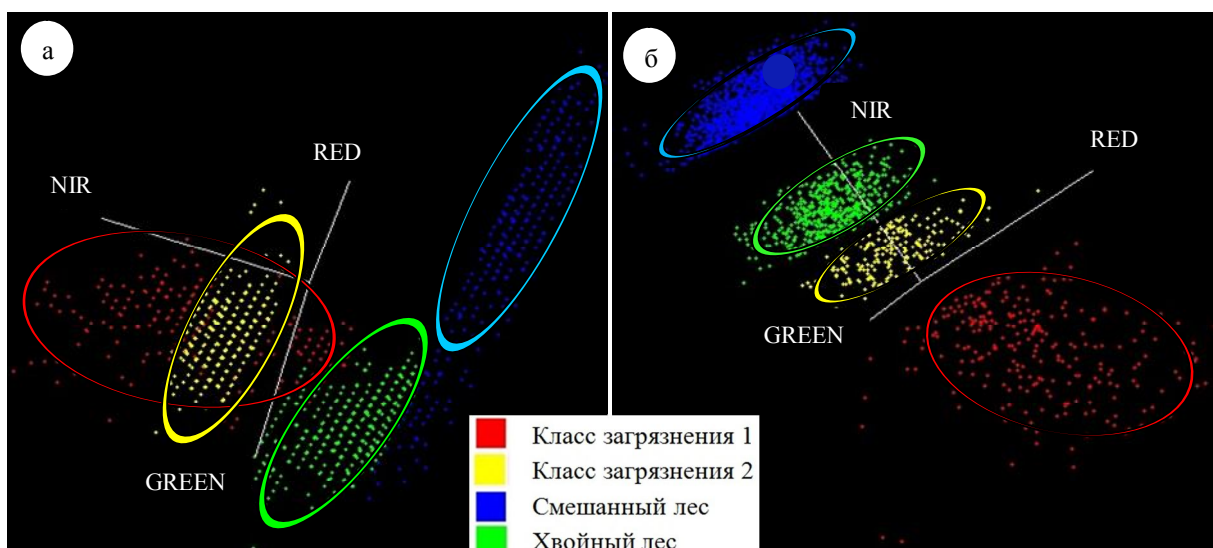


Рис. 4. Облака значений спектральных характеристик эталонных классов наземного покрова в n -Dimensional (N -D) пространстве диаграммы рассеивания для фрагментов спутниковых сцен: а) ALOS и б) Rapid Eye

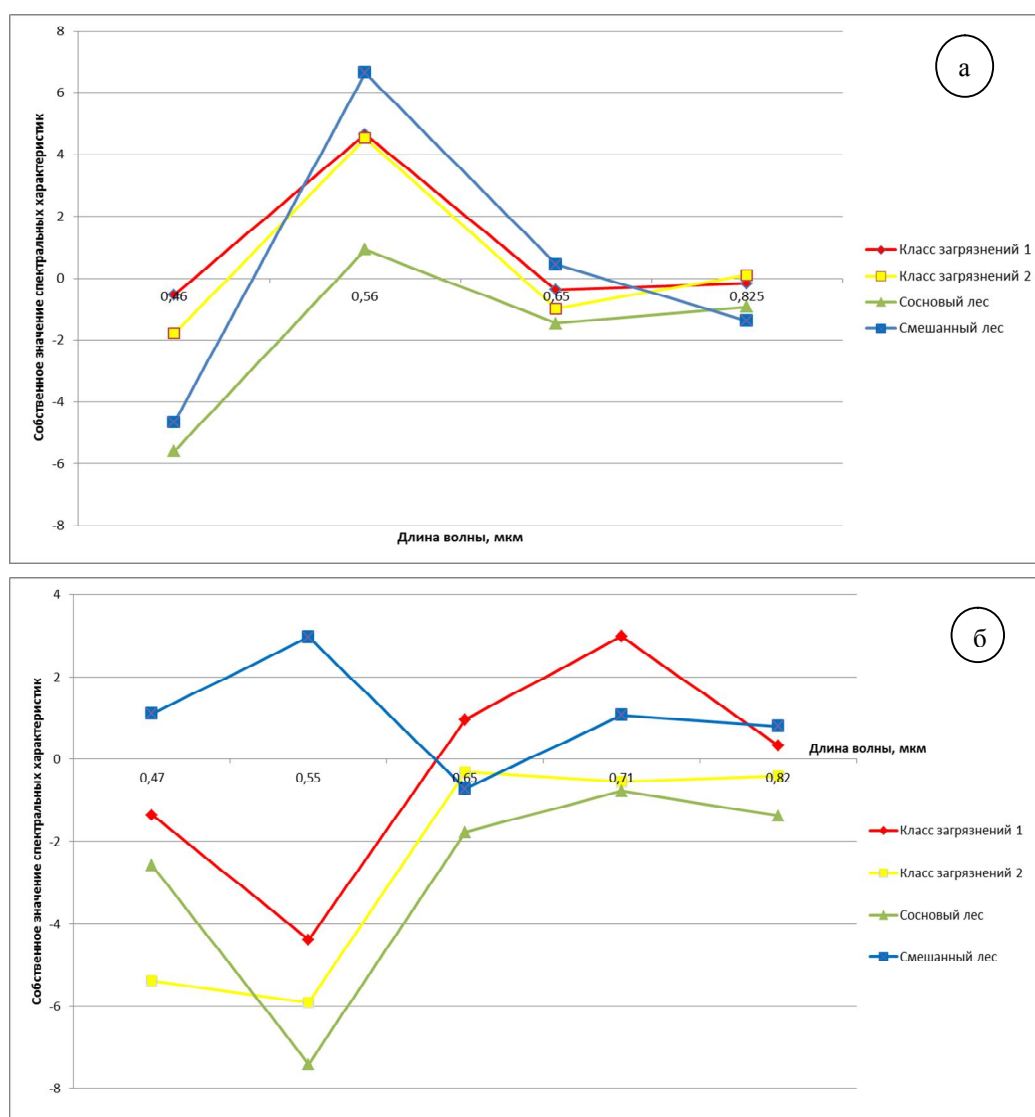


Рис. 5. Спектральные кривые классов (эталонные полигоны) растительного покрова для фрагмента сцены трансформированных изображений: а) ALOS, б) RapidEye

Таблица 2

Статистические данные спектральных характеристик каналов RED и NIR для 1 и 2 классов загрязнений известковой пылью лесного покрова на снимках RapidEye и ALOS

Спектральный канал/тематический класс	Спектральные характеристики			Стандартное отклонение
	Минимальное	Максимальное	Среднее	
RapidEye				
3 (RED) Класс_1	- 2,96	3,12	1,59	0,56
4 (NIR) Класс_1	- 2,36	1,91	0,05	0,99
3 (RED) Класс_2	- 2,44	2,89	1,04	0,53
4 (NIR) Класс_2	-3,00	3,62	0,07	0,18
ALOS				
3 (RED) Класс_1	- 7,72	3,56	- 0,96	1,73
4 (NIR) Класс_1	- 4,14	3,77	0,05	0,96
3 (RED) Класс_2	- 5,64	2,00	- 1,10	1,29
4 (NIR) Класс_2	- 6,99	3,92	- 0,18	1,40

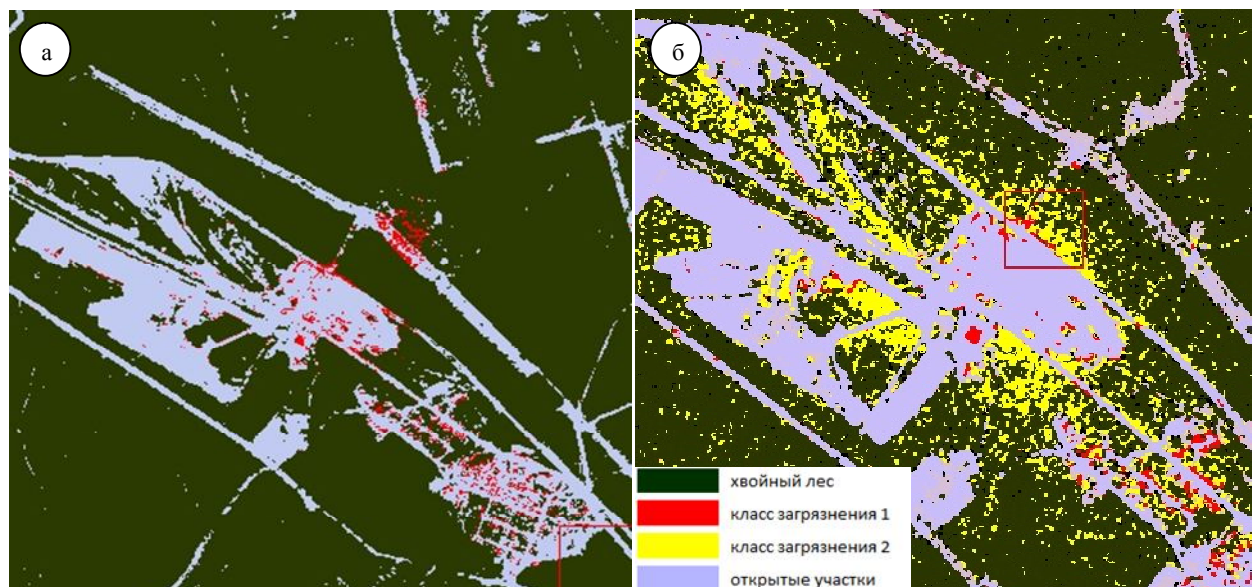


Рис. 6. Тематические карты изучаемой местности на спутниковых снимках: а) ALOS, б) RapidEye

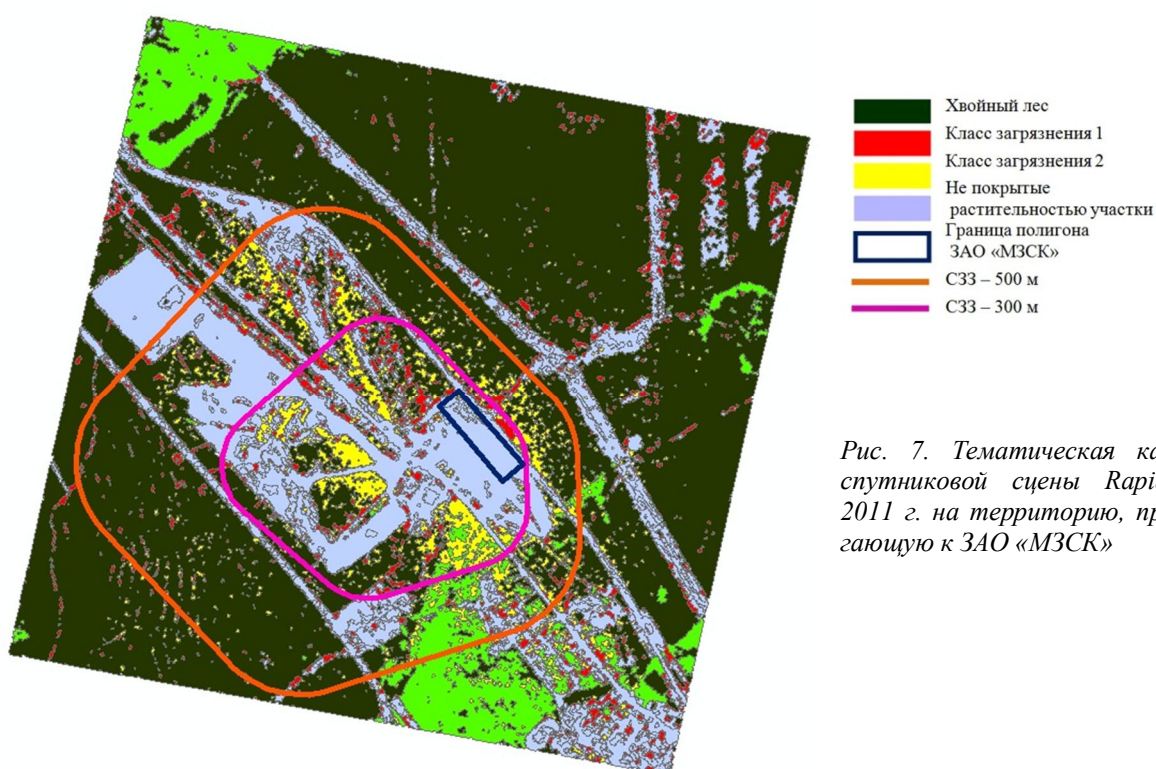


Рис. 7. Тематическая карта спутниковой сцены RapidEye 2011 г. на территорию, прилегающую к ЗАО «МЗСК»

Таблица 3

Распределение классов наземного покрова в пределах СЗЗ ЗАО «МЗСК»

Класс наземного покрова	Площадь СЗЗ на 300 м		Площадь СЗЗ на 500 м	
	га	%	га	%
Участки загрязнения 1	12,1	17,1	25,1	9,2
Участки загрязнения 2	23,5	33,9	47,4	17,3
Чистый лес	35,6	49	200,6	73,5
Лес, всего	71,2	100	273,1	100

Анализ разделимости классов в n-D пространственном визуализаторе и Z-пространстве признаков на основе эталонных участков при изучении различной степени загрязнения лесных насаждений отходами силикатного производства выявил явное преимущество использования спутникового изображения более высокого разрешения. Графический и статистический анализ спектральных характеристик различных классов наземного покрова, расположенных в пределах ЗАО «МЗСК», подтверждает лучшие возможности использования Rapid Eye 2011 г. для классификации загрязнений на изучаемой территории.

Различие в пространственном разрешении на 5 м делают снимки Rapid Eye по сравнению с ALOS более приемлемыми в решении вопросов детальной классификации спутников снимков при выделении классов лесных насаждений, загрязненных отходами силикатного производства, и других объектов на местности. Высокая

пространственная детализация спектральных различий изучаемых объектов, достигнутая за счет использования дополнительных алгоритмов по снижению «шумов» на снимках RapidEye, позволяет использовать их при анализе различий близких по своим характеристикам объектов наземного покрова.

Полученные в исследовании результаты могут быть полезны службе санитарного контроля на предприятии и Департаменту экологической безопасности Республики Марий Эл при работе по оценке состояния лесных насаждений в зоне влияния предприятия, а также при мониторинге пространственного распределения максимально- и среднезагрязненных участков леса. Кроме того, разработанная методика будет способствовать повышению точности дешифрирования лесных насаждений по спутниковым снимкам при проведении лесоустройства и оперативной оценке состояния лесов.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, соглашение № 14.B37.21.1245 Министерства образования и науки Российской Федерации «Дистанционный мониторинг и прогнозирование состояния лесных насаждений по спутниковым снимкам» и тематического плана Министерства науки и образования РФ на 2012-2014 гг. «Оценка, мониторинг и прогнозирование биологической продуктивности лесов по данным спутниковой съемки».

Список литературы

1. *Rastamanesh, F.* Monitoring deterioration of vegetation cover in the vicinity of smelting industry, using statistical methods and TM and ETM + images, Sarcheshmeh copper complex, Central Iran / F. Rastamanesh, F. Moore, M. Kharrati-Kopaei, M. Behrouz // *Environmental Monitoring and Assessment*. – 2010. – Vol. 163. – № 1. – P. 397-410.
2. *Qiu, Y.* Capture of heavy metals and sulfur by foliar dust in urban Huizhou, Guangdong Province, China / Y. Qiu, D. Guan, W. Song, K. Huang // *Chemosphere*. – 2009. – Vol. 75(4). – P. 447-452.
3. *Jason, G.S.* Predicting traffic-related air pollution in Los Angeles using a distance decay regression selection strategy / G.S. Jason, M. Jerrett, B. Beckerman, M. Wilhelm, J.K. Ghosh, B. Riz // *Environmental Research*. – 2009. – Vol. 109. – № 6. – P. 657-670.
4. *Ettler, V.* Contrasting lead speciation in forest and tilled soils heavily polluted by lead smelting / V. Ettler, A. Vanke, M. Minaljevic, P. Bezdickal // *Chemosphere*. – 2005. – № 58. – P. 1449-1459.

References

1. *Rastamanesh F., Moore F., Kharrati-Kopaei M., Behrouz M.* Monitoring deterioration of vegetation cover in the vicinity of smelting industry, using statistical methods and TM and ETM + images, Sarcheshmeh copper complex, Central Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2010. Vol. 163. No 1. P. 397-410.
2. *Qiu Y., Guan D., Song W., Huang K.* Capture of heavy metals and sulfur by foliar dust in urban Huizhou, Guangdong Province, China. *Chemosphere*. 2009. Vol. 75(4). P. 447-452.
3. *Jason G.S., Jerrett M., Beckerman B., Wilhelm M., Ghosh J.K., Riz B.* Predicting traffic-related air pollution in Los Angeles using a distance decay regression selection strategy. *Environmental Research*. 2009. Vol. 109. No 6. P. 657-670.
4. *Ettler V., Vanke A., Minaljevic M., Bezdickal P.* Contrasting lead speciation in forest and tilled soils heavily polluted by lead smelting. *Chemosphere*. 2005. No 58. P. 1449-1459.

5. Токарева, О.С. Оценка динамики состояния растений-биоиндикаторов атмосферного загрязнения на основе данных дистанционного зондирования Земли / О.С. Токарева, И.В. Касьянов // Вестник науки Сибири. – 2011. – № 1(1). – С. 268–272.
6. Полищук, Ю.М. Картографирование экологических рисков воздействия нефтедобычи на растительный покров с использованием спутниковых данных / Ю.М. Полищук, О.С. Токарева // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2010. – Т 7 (3). – С. 269–274
7. Корец, М.А. Оценка состояния растительного покрова в зоне воздействия промышленных предприятий с использованием данных ENVISAT-MERIS и SPOT-Vegetation/ М.А. Корец, В.А. Рыжкова, С.А. Барталев // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2006. – Т 2. – С. 330–334.
8. Курбанов, Э.А. Дистанционный мониторинг динамики нарушений лесного покрова, лесовозобновления и лесовосстановления в Марийском Заволжье / Э.А. Курбанов, Т.В. Нуреева, О.Н. Воробьев и др. // Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2011. – № 3. – С. 17–24.
9. Price, K.P. Shrub dieback in a semiarid ecosystem: The integration of remote sensing and geographic information systems for detecting vegetation change / K.P. Price, D.A. Pyke, L. Mendes // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1992. – № 58(4). – P. 455–463.
10. Buschmann, C. In vivo spectroscopy and internal optics of leaves as basis for remote sensing of vegetation / C. Buschmann, E. Nagel // International Journal of Remote Sensing. – 1993. – № 14. – P. 711–722.
11. Nagai, S. In situ examination of the relationship between various vegetation indices and canopy phenology in an evergreen coniferous forest, Japan / S. Nagai, T.M. Saitoh, H. Kobayashi, M. Ishihara, R. Suzuki, T. Motohka, K.N. Nasahara, H. Muraoka // International Journal of Remote Sensing. – 2012. – Vol. 33. – № 19. – P. 6202–6214.
12. Ji, L. Agreement evaluation of AVHRR and MODIS 16-day composite NDVI data sets / L. Ji, K. Gallo, J.C. Eidenshink, J. Dwyer // International Journal of Remote Sensing. – 2008. – Vol. 29. – № 16. – P. 4839–4861.
5. Tokareva O.S., Kasyanov I.V. Otsenka dinamiki sostoyaniya rasteniy-bioindikatorov atmosfernogo zagryazneniya na osnove dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli [Dynamics Assessment of Condition of Plants – Bioindicators of Atmospheric Pollution on the Base of Earth Remote Sensing Data]. Vestnik nauki Sibiri [Vestnik of Siberia Science.]. 2011. No 1(1). P. 268–272.
6. Polishchuk Yu.M., Tokareva O.S. Kartografirovanie ekologicheskikh riskov vozdeystviya nefte dobychi na rastitelnyy pokrov s ispolzovaniem sputnikovykh dannykh [Mapping of Environmental Risks of Oil Extraction Impact on Vegetation Cover with the Use of Satellite Data]. Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Modern Methods of Earth Remote Sensing]. 2010. V 7 (3). P. 269–274
7. Korets M.A., Ryzhkova V.A., Bartalev S.A. Otsenka sostoyaniya rastitelnogo pokrova v zone vozdeystviya promyshlennykh predpriyatiy s ispolzovaniem dannykh ENVISAT-MERIS i SPOT-Vegetation [Assessment of Vegetation Cover Condition in an Industrial Zone with the Use of ENVISAT-MERIS and SPOT-Vegetation Data]. Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Modern Methods of Earth Remote Sensing]. 2006. V. 2. P. 330–334.
8. Kurbanov E.A., Nureeva T.V., Vorobyev O.N., etc. Distantsionnyy monitoring dinamiki narusheniy lesnogo pokrova, lesovozobnovleniya i lesovostanovleniya v Mariyskom Zavolzhe [Remote Monitoring of Dynamics of Forest Cover Deviance, Reafforestation and Restoration in Mari Forests]. Vestnik MarGTU. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie [Vestnik of MarSTU, Series: Forest. Ecology. Nature Management]. 2011. No 3. P. 17–24.
9. Price K.P., Pyke D.A., Mendes L. Shrub dieback in a semiarid ecosystem: The integration of remote sensing and geographic information systems for detecting vegetation change. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 1992. No 58(4). – P. 455–463.
10. Buschmann C., Nagel E. In vivo spectroscopy and internal optics of leaves as basis for remote sensing of vegetation. International Journal of Remote Sensing. 1993. No 14. P. 711–722.
11. Nagai S., Saitoh T.M., Kobayashi H., Ishihara M., Suzuki R., Motohka T., Nasahara K.N., Muraoka H. In situ examination of the relationship between various vegetation indices and canopy phenology in an evergreen coniferous forest, Japan. International Journal of Remote Sensing. 2012. Vol. 33. No 19. P. 6202–6214.
12. Ji L., Gallo K., Eidenshink J.C., Dwyer J. Agreement evaluation of AVHRR and MODIS 16-day composite NDVI data sets. International Journal of Remote Sensing. 2008. Vol. 29. No 16. P. 4839–4861.

13. Wang, H. Study on the relationship between sub-pixel percentage cover and multi-temporal NDVI / H. Wang, H. Lin, J. Chen, F. Chen // International Journal of Remote Sensing. – 2012. – Vol. 33. – № 17. – P. 5615-5628.
14. Воробьев, О.Н. Дистанционный мониторинг лесных гарей в Марийском Заволжье / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, А.В. Губаев и др. // Вестник ПГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2012. – № 1. – С. 12-22.
15. Xu, R.S. Remote sensing research in biogeochemistry of the Hetai gold deposit, Guangdong Province, China / R.S. Xu, Y.L. Ma // International Journal of Remote Sensing. – 2004. – № 25(2). – P. 437-454.
16. Guo, Y. Spatial distributions and temporal variations of atmospheric aerosols and the affecting factors: a case study for a region in central China / Y. Guo, S. Hong, N. Feng, Y. Zhuang, L. Zhang // International Journal of Remote Sensing. – 2012. – Vol. 33. – № 12. – P. 3672-3692.
17. Kaufman, Y.J. A satellite view of aerosols in the climate system / Y.J. Kaufman, D. Tanre, O. Boucher // Nature. – 2002. – № 419. – P. 215-223.
18. Li, B.G. Spatial and temporal variations of aerosol optical depth in China during the period from 2003 to 2006 / B.G. Li, H.S. Yuan, N. Feng, S. Tao // International Journal of Remote Sensing. – 2010. – № 31. – P. 1801-1817.
19. Gamon, J.A. A mobile tram system for systematic sampling of ecosystem optical properties / J.A. Gamon, Y. Cheng, H. Claudio, L. Mackinney, D.A. Sims // Remote Sensing of Environment. – 2006. – № 103. – P. 246-254.
20. Курбанов, Э.А. Оценка зарастания земель запаса Республики Марий Эл лесной растительностью по спутниковым снимкам / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, и др. // Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2010. – № 2(9). – С. 14-20.
21. Nagai, S. In situ examination of the relationship between various vegetation indices and canopy phenology in an evergreen coniferous forest, Japan / S. Nagai, T.M. Saitoh, H. Kobayashi, M. Ishihara, R. Suzuki, T. Motohka, K.N. Nasahara, H. Muraoka // International Journal of Remote Sensing. – 2012. – Vol. 33. – № 19. – P. 6202-6214.
22. Amirsalari, F. Investigation of correlation between remotely sensed impervious surfaces and chloride concentrations / F. Amirsalari, J. Li, X. Guan, W.G. Booty // International Journal of Remote Sensing. – 2013. – Vol. 34. – № 5. – P. 1507-1525.
23. Goodwin, N.R. Estimation of insect infestation dynamics using a temporal sequence of Landsat data / N.R. Goodwin, N.C. Coops, M.A. Wulder, T.A. Gillanders Schroeder, T. Nelson // Remote Sensing. – 2013. – Vol. 34. – № 5. – P. 1507-1525.
13. Wang H., Lin H., Chen J., Chen F. Study on the relationship between sub-pixel percentage cover and multi-temporal NDVI. International Journal of Remote Sensing. 2012. Vol. 33. No 17. P. 5615-5628.
14. Vorobyev O.N., Kurbanov E.A., Gubaev A.V., etc. Distantionnyy monitoring lesnykh garey v Mariyskom Zavolzhe [Remote Monitoring of Burns in Mari Forests]. Vestnik MarGTU. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie [Vestnik of MarSTU, Series: Forest. Ecology. Nature Management.]. 2012. No 1. P. 12-22.
15. Xu R.S., Ma Y.L. Remote sensing research in biogeochemistry of the Hetai gold deposit, Guangdong Province, China. International Journal of Remote Sensing. 2004. No 25(2). P. 437-454.
16. Guo Y., Hong S., Feng N., Zhuang Y., Zhang L. Spatial distributions and temporal variations of atmospheric aerosols and the affecting factors: a case study for a region in central China. International Journal of Remote Sensing. 2012. Vol. 33. No 12. P. 3672-3692.
17. Kaufman Y.J., Tanre D., Bou-cher O. A satellite view of aerosols in the climate system. Nature. 2002. No 419. P. 215-223.
18. Li B.G., Yuan H.S., Feng N., Tao S. Spatial and temporal variations of aerosol optical depth in China during the period from 2003 to 2006. International Journal of Remote Sensing. 2010. No 31. P. 1801-1817.
19. Gamon J.A., Cheng Y., Claudio H., Mackinney L., Sims D.A. A mobile tram system for systematic sampling of ecosystem optical properties. Remote Sensing of Environment. 2006. No 103. P. 246-254.
20. Kurbanov E.A., Vorobyev O.N., Gubaev A.V., etc. Otsenka zarastaniya zemel zapasa Respubliki Mariy El lesnoy rastitelnostyu po sputnikovym snimkam [Assessment of Forest Colonization of Reserve Lands of the Republic of Mari El by Satellite Shots]. Vestnik MarGTU. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie [Vestnik of MarSTU, Series: Forest. Ecology. Nature Management.]. 2010. No 2(9). P. 14-20.
21. Nagai S., Saitoh T.M., Kobayashi H., Ishihara M., Suzuki R., Motohka T., Nasahara K.N., Muraoka H. In situ examination of the relationship between various vegetation indices and canopy phenology in an evergreen coniferous forest, Japan. International Journal of Remote Sensing. 2012. Vol. 33. No 19. P. 6202-6214.
22. Amirsalari F., Li J., Guan X., Booty W.G. Investigation of correlation between remotely sensed impervious surfaces and chloride concentrations. International Journal of Remote Sensing. 2013. Vol. 34. No 5. P. 1507-1525.
23. Goodwin N.R., Coops N.C., Wulder M.A., Gillanders Schroeder T.A., Nelson T. Estimation of insect infestation dynamics using a temporal sequence of Landsat data. Remote Sensing of Environment. 2008. No 103. P. 246-254.

ing of Environment. – 2008. – № 112. – P. 3680–3689.

24. *Hostert, P.* Coupling spectral unmixing and trend analysis for monitoring of long-term vegetation dynamics in Mediterranean rangelands / P. Hostert, A. Röder, J. Hill // Remote Sensing of Environment. – 2003. – № 87. – P. 183–197.

25. *Kennedy, R.E.* Spatial and temporal patterns of forest disturbance and regrowth within the area of the Northwest Forest Plan / R.E. Kennedy, Z. Yang, W.B. Cohen, E. Pfaff, J. Braaten, P. Nelson // Remote Sensing of Environment. – 2012. – № 122. – P. 117–133.

26. *Kennedy, R.E.* Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr - Temporal segmentation algorithms / R.E. Kennedy, Z. Yang, W.B. Cohen // Remote Sensing of Environment. – 2010. – Vol. 114. – № 12. – P. 2897–2910.

27. *Vogelmann, J.E.* Monitoring forest changes in the southwestern United States using multitemporal Landsat data / J.E. Vogelmann, B. Tolk, Z. Zhu // Remote Sensing of Environment. – 2009. – № 113. – P. 1739–1748.

28. *Huang, C.* An automated approach for reconstructing recent forest disturbance history using dense Landsat time series stacks / C. Huang, S.N. Goward, J.G. Masek, N. Thomas, Z. Zhu, J.E. Vogelmann // Remote Sensing of Environment. – 2010. – № 114. – P. 183–198.

29. *Healey, S.P.* Application of two regression-based methods to estimate the effects of partial harvest on forest structure using Landsat data / S.P. Healey, Z. Yang, W.B. Cohen, D.J. Pierce // Remote Sensing of Environment. – 2006. – № 101. – P. 115–126.

30. *Masek, J.G.* A Landsat surface reflectance data set for North America, 1990–2000 / J.G. Masek, E.F. Vermote, N. Saleous, R. Wolfe, E.F. Hall, F. Huemmrich et al. // Geoscience and Remote Sensing Letters. – 2008. – № 3. – P. 68–72.

31. *Zhu, Z.* Continuous monitoring of forest disturbance using all available Landsat imagery / Z. Zhu, C.E. Woodcock, P. Olofsson // Remote sensing of environment. – 2012. – № 122. – P. 75–91.

32. *Mahlein, A.K.* Development of spectral indices for detecting and identifying plant diseases / A.K. Mahlein, T. Rumpf, P. Welke, H.W. Dehne, L. Plümer, U. Steiner, E.C. Oerke // Remote Sensing of Environment. – 2013. – № 128. – P. 21–30.

33. *Moshou, D.* Automatic detection of ‘yellow rust’ in wheat using reflectance measurements and neural networks / D. Moshou, C. Bravo, J. West, S. Wahlen, A. McCartney, H. Ramon // Computers and Electronics in Agriculture. – 2004. – № 44. – P. 173–188.

34. *Banks, J.R.* Evaluation of MSG-SEVIRI mineral dust retrieval products over North Africa and the Middle East / J.R. Banks, H.E. Brindley // Remote Sensing of Environment. – 2013. – № 128. – P. 58–73.

No 112. P. 3680–3689.

24. *Hostert P., Röder A., Hill J.* Coupling spectral unmixing and trend analysis for monitoring of long-term vegetation dynamics in Mediterranean rangelands. Remote Sensing of Environment. 2003. No 87. P. 183–197.

25. *Kennedy R.E., Yang Z., Cohen W.B., Pfaff E., Braaten J., Nelson P.* Spatial and temporal patterns of forest disturbance and regrowth within the area of the Northwest Forest Plan. Remote Sensing of Environment. 2012. No 122. P. 117–133.

26. *Kennedy R.E., Yang Z., Cohen W.B.* Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr - Temporal segmentation algorithms. Remote Sensing of Environment. 2010. Vol. 114. No 12. P. 2897–2910.

27. *Vogelmann J.E., Tolk B., Zhu Z.* Monitoring forest changes in the southwestern United States using multitemporal Landsat data. Remote Sensing of Environment. 2009. No 113. P. 1739–1748.

28. *Huang C., Goward S.N., Masek J.G., Thomas N., Zhu Z., Vogelmann J.E.* An automated approach for reconstructing recent forest disturbance history using dense Landsat time series stacks. Remote Sensing of Environment. 2010. No 114. P. 183–198.

29. *Healey S.P., Yang Z., Cohen W.B., Pierce D.J.* Application of two regression-based methods to estimate the effects of partial harvest on forest structure using Landsat data. Remote Sensing of Environment. 2006. No 101. P. 115–126.

30. *Masek J.G., Vermote E.F., Saleous N., Wolfe R., Hall E.F., Huemmrich F., et al.* A Landsat surface reflectance data set for North America, 1990–2000. Geoscience and Remote Sensing Letters. 2008. No 3. P. 68–72.

31. *Zhu Z., Woodcock C.E., Olofsson P.* Continuous monitoring of forest disturbance using all available Landsat imagery. Remote sensing of environment. 2012. No 122. P. 75–91.

32. *Mahlein A.K., Rumpf T., Welke P., Dehne H.W., Plümer L., Steiner U., Oerke E.C.* Development of spectral indices for detecting and identifying plant diseases. Remote Sensing of Environment. 2013. No 128. P. 21–30.

33. *Moshou D., Bravo C., West J., Wahlen S., McCartney A., Ramon H.* Automatic detection of ‘yellow rust’ in wheat using reflectance measurements and neural networks. Computers and Electronics in Agriculture. 2004. No 44. P. 173–188.

34. *Banks J.R., Brindley H.E.* Evaluation of MSG-SEVIRI mineral dust retrieval products over North Africa and the Middle East. Remote Sensing of Environment. 2013. No 128. P. 58–73.

35. *Ежегодный доклад о состоянии окружающей среды Республики Марий Эл за 2009 год* : гос. доклад за 2009 г. / Министерство сельского хозяйства, продовольствия и природопользования Республики Марий Эл. - Департамент экологической безопасности, природопользования и защиты населения Республики Марий Эл. – Йошкар-Ола, 2010. – 190 с.

36. *Демаков, Ю.П.* Изменение зольного состава хвои, коры и древесины сосны в зоне выбросов завода силикатного кирпича /Ю.П. Демаков, С.М. Швецов, М.И. Майшанова // Вестник ПГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2012. – № 1. – С. 85-95.

37. *Методические рекомендации по надзору, учету и прогнозу массовых размножений стволовых вредителей и санитарного состояния лесов* [Электронный ресурс]. – Пушкино: ВНИИМ, 2008. -57с. Режим доступа: http://www.rcfh.ru/userfiles/files/16_massovye_razmnozheniya_stvolovykh_vreditel.pdf (дата обращения: 16.03.2013).

38. *Sunyurp, P.* Mapping and Spatial Characterization of Nonnative Grasses in the Big Island, Hawaii Using Hyperspectral Imagery / P. Sunyurp // Annual Conference of the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing 2006: Prospecting for Geo-spatial Information Integration. Reno, Nevada. – 2006. – Vol. 3. – P. 1028–1035.

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

40. *Губаев, А.В.* Мониторинг и прогнозирование состояния лесных насаждений методами дистанционного зондирования / А.В. Губаев, Э.А. Курбанов, О.Н. Кранкина, О.Н. Воробьев // Влияние аномальной погоды на природные, социально-экономические и искусственные системы: засуха 2010 года в Поволжье России: материалы международной научной конференции NASA и семинара GOFC-GOLD/NEESPI [Электронный ресурс]. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2012. – С. 92-98. – URL: <http://csfm.marstu.net/publications.html>

35. *Ezhegodnyy doklad o sostoyanii okruzhayushchey sredy Respubliki Mariy El za 2009 god*: gos.doklad za 2009 god [Annual Report on Condition of Environment in the Republic of Mari El in 2009 : state report for 2009]. Ministerstvo selskogo khozyaystva, prodovolstviya i prirodopolzovaniya Respubliki Mariy El [Ministry of Agriculture, Food Provision and Nature Management of the Republic of Mari El]. Departament ekologicheskoy bezopasnosti, prirodopolzovaniya i zashchity naseleniya Respubliki Mariy El [Department of Ecological Safety, Nature Management and Population Protection of the Republic of Mari El]. Yoshkar-Ola, 2010. 190 p.

36. *Demakov Yu.P., Shvetsov S.M., Mayshanova M.I.* Izmenenie zolnogo sostava khvoi, kory i drevesiny sosny v zone vybrosov zavoda silikatnogo kirpicha [Changes in Ash Content of Needle, Bark and Timber of Pines in the Drop out Area of the Plant of Silex Brick]. Vestnik MarGTU. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie [Vestnik of MarSTU, Series: Forest. Ecology. Nature Management]. 2012. No 1. P. 85-95.

37. *Metodologicheskie rekomendatsii po nadzoru, uchetu i prognozu massovykh razmnozheniy stvolovykh vreditel'ey i sanitarnogo sostoyaniya lesov* [Methodological Recommendations on Supervision, Account and Prognostication of Mass Propagation of Bark Pests and Sanitary Condition of Forests]. Pushkino, VNILM, 2008. 57p. URL: http://www.rcfh.ru/userfiles/files/16_massovye_razmnozheniya_stvolovykh_vreditel.pdf (Reference date: 16.03.2013).

38. *Sunyurp, P.* Mapping and Spatial Characterization of Nonnative Grasses in the Big Island, Hawaii Using Hyperspectral Imagery. Annual Conference of the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing 2006: Prospecting for Geo-spatial Information Integration. Reno, Nevada. 2006. Vol. 3. P. 1028–1035.

39. *Программный комплекс ENVI* : учебное пособие [Program Complex ENVI : Study guide.]. Moscow, «Sovzond», 2009. 320 p.

40. *Gubaev A.V., Kurbanov E.A., Krankina O.N., Vorobyev O.N.* Monitoring i prognozirovanie sostoyaniya lesnykh nasazhdeniy metodami distantsionnogo zondirovaniya [Monitoring and Prognostication of Forests Stands by Means of Remote Sensing]. Vliyanie anomal'noy pogody na prirodnye, sotsialno-ekonomicheskie i iskusstvennyye sistemy: zasukha 2010 goda v Povolzhe Rossii: materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii NASA i seminar GOFC-GOLD/NEESPI [Influence of Abnormal Weather Conditions on Natural, Social and Economic Systems: Drought-2010 in the Volga Region of Russia: Materials of International Scientific Conference NASA and Seminar GOFC-GOLD/NEESPI]. Yoshkar-Ola, Volga State University of Technology, 2012. P. 92-98. URL: <http://csfm.marstu.net/publications.html>.

41. *Охрана труда в России* [Электронный ресурс]. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. Новая редакция». - Введ. 2003-10-04. Режим доступа: http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/52/52471/index.php (дата обращения: 16.03.2013).

42. *Независимый строительный портал* [Электронный ресурс]. СНиП 23-01-99. «Система нормативных документов в строительстве. Строительные нормы и правила Российской Федерации. Строительная климатология». Режим доступа: <http://www.nsp.su/gosts/snip/d130> (дата обращения: 16.03.2013).

43. *Охрана труда в России* [Электронный ресурс]. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий: ОНД-86 ЛЕНИНГРАД ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ: Сogl. Минздравом СССР 7.02.1986 г. № 04-4/259-4. Режим доступа: http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/2/2826/index.php (дата обращения: 16.03.2013).

41. *Okhrana truda v Rossii* [Protection of Workers in Russia]. SanPiN 2.2.1/2.1.1.1200-03. «Sanitarno-zashchitnye zony i sanitarnaya klassifikatsiya predpriyatiy, sooruzheniy i inykh obektov. Novaya redaktsiya». Vved. 2003-10-04. [SanPiN 2.2.1/2.1.1.1200-03. «Sanitary Protection Zones and Sanitary Classification of the Enterprises and Other Buildings. New version». In action since 2003-10-04.]. URL: http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/52/52471/index.php (Reference date: 16.03.2013).

42. *Nezavisimyy stroitelnyy portal*. SNiP 23-01-99 «Sistema normativnykh dokumentov v stroitelstve. Stroitelnye normy i pravila Rossiyskoy Federatsii. Stroitel'naya klimatologiya» [Independent Portal on Construction. Construction Norms and Rules 23-01-99. «System of Construction Normative Documents. Construction Norms and Rules of the Russian Federation. Construction Climatology»]. URL: <http://www.nsp.su/gosts/snip/d130> (Reference date: 16.03.2013).

43. *Okhrana truda v Rossii* [Protection of Workers in Russia]. Metodika rascheta kontsentratsiy v atmosfernom vozdukh vrednykh veshchestv, soderzhashchikhsya v vybrosakh predpriyatiy: OND-86 LENINGRAD GIDROMETEIOIZDAT: Sogl. Minzdravom SSSR 7.02.1986 № 04-4/259-4. [Methods of Calculation of Repugnant Substance Discharged in the Air by the Enterprises: UMN-86 LENINGRAD GIDROMETEIOIZDAT: Agreed upon with the Ministry of Health of the USSR 7.02.1986 № 04-4/259-4.]. URL: http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/2/2826/index.php (дата обращения: 16.03.2013).

Статья поступила в редакцию 06.05.13.

КУРБАНОВ Эльдар Аликрамович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства, руководитель Центра устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов, Поволжский государственный технологический университет (Российская Федерация, Йошкар-Ола). Область научных интересов – устойчивое управление лесами, биологическая продуктивность лесных экосистем, депонирование углерода лесными экосистемами, дистанционное зондирование земли, леса Киото. Автор более 120 научных и учебно-методических работ.

E-mail: kurbanovea@volgatech.net

ВОРОБЬЕВ Олег Николаевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства, Поволжский государственный технологический университет (Российская Федерация, Йошкар-Ола). Область научных интересов – дистанционное зондирование лесов, депонирование углерода лесными экосистемами, мониторинг лесных экосистем. Автор более 40 научных и учебно-методических работ.

E-mail: vorobievon@volgatech.net

ПОЛЕВЩИКОВА Юлия Александровна – программист кафедры лесоводства, Поволжский государственный технологический университет (Российская Федерация, Йошкар-Ола). Область научных интересов – дистанционное зондирование земли, биологическая продуктивность лесных экосистем. Автор 15 публикаций.

E-mail: polevshikovaya@volgatech.net

НЕЗАМАЕВ Сергей Александрович – аспирант кафедры лесоводства, Поволжский государственный технологический университет (Российская Федерация, Йошкар-Ола). Область научных интересов – дистанционное зондирование лесов, биологическая продуктивность лесов. Автор 15 публикаций.

E-mail: nezamayevsa@volgatech.net

ДЕМИШЕВА Екатерина Николаевна – магистрант кафедры лесоводства, Поволжский государственный технологический университет (Российская Федерация, Йошкар-Ола). Область научных интересов – дистанционное зондирование лесов, оценка загрязненных территорий.

E-mail: kls@volgatech.net

KURBANOV Eldar Alikramovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor at the Chair of Forestry, Head of the Centre of Sustainable Forest Management and Remote Sensing, Volga State University of Technology (Russian Federation, Yoshkar-Ola). Research interest – sustainable forest management, biological productivity of forest ecosystems, carbon sequestration by the forest ecosystems, earth remote sensing, Kyoto forests. The author of more than 120 scientific publications and study guides.

E-mail: kurbanovea@volgatech.net

VOROBYEV Oleg Nikolayevich – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at the Chair Forestry, Volga State University of Technology (Russian Federation, Yoshkar-Ola). Research interest – forest remote sensing, carbon sequestration by the forest ecosystems, forest ecosystems monitoring. The author of more than 40 scientific publications and study guides.

E-mail: vorobievon@volgatech.net

POLEVSHCHIKOVA Yuliya Alexandrovna – Programmer at the Chair Forestry, Volga State University of Technology (Russian Federation, Yoshkar-Ola). Research interest – earth remote sensing, biological productivity of forest ecosystems. The author of 15 publications.

E-mail: polevshikovaya@volgatech.net

NEZAMAEV Sergey Alexandrovich – Postgraduate Student at the Chair Forestry, Volga State University of Technology (Russian Federation, Yoshkar-Ola). Research interest – forest remote sensing, biological productivity of forests. The author of 15 publications.

E-mail: nezamayevsa@volgatech.net

DEMISHEVA Ekaterina Nikolayevna – Master's Student at the Chair Forestry, Volga State University of Technology (Yoshkar-Ola, Russian Federation). Research interest – forest remote sensing, assessment of contaminated and polluted land.

E-mail: kls@volgatech.net

E. A. Kurbanov, O. N. Vorobyev, Y. A. Polevshikova, S. A. Nezamayev, E. N. Demisheva
**COMPARISON ANALYSES OF SATELITE IMAGES OF HIGH RESOLUTION
FOR INTERPRETATION OF FORESTS CONTAMINATED BY WASTES
OF SILICATE PRODUCTION**

Key words: remote sensing; forest ecosystems; anthropogenic contamination; silicate production; satellite images; transformation of image.

The long term terrestrial monitoring of the impact of anthropogenic wastes on the environment is considered to be an expensive procedure. Therefore new alternative options of the ecosystems monitoring are very important. Remote sensing methods are among them. The aim of the research was to develop and approbate of the identification methodology of forest ecosystems contaminated by the wastes of silicate production in Republic Mari El with the use of satellite images of high resolution ALOS and RapidEye. With the aim to separate the classes of forest cover, contaminated by lime dust, the MNF (minimal noise fraction) transformation algorithm was applied on the satellite images. The best results of unsupervised classification were obtained for the RapidEye satellite image, on the base of which thematic maps of contaminated territory were developed. Estimation of the precision of the research results are based on the criteria of geo statistics. The classes of forest cover contaminated by the lime dust were better separated on the RapidEye satellite image. The precision of the contaminated area estimation on the developed thematic map was confirmed by high Kappa coefficient (0.82). Analyses of thematic map based on the RapidEye image for classes of earth cover shows high contamination of the forest areas by lime dust around the silicate plant. Maximum concentration of the contamination of forest ecosystems locates within the 500 m around the plant. The main trend of the spatial distribution of the lime dust on the forest ecosystems was found in the north-western direction, which also corresponds to the wind rose of the investigated territory. Obtained research results could be useful for the department of ecological security of Republic Mari El for estimation of the condition of the forest ecosystems in the area of silicate production, as well during the monitoring of the spatial distribution of different classes of contaminated forest areas.

УДК 630*232.311.3

А. А. Прохорова, О. В. Шейкина, Ю. Ф. Гладков

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВЕГЕТАТИВНЫХ ПОТОМСТВ ПЛЮСОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ ЕЛИ НА АРХИВЕ КЛОНОВ В РЕСПУБЛИКЕ МАРИЙ ЭЛ

Проведены исследования плюсовых деревьев ели, отобранных в пяти географических районах ISSR-методом. С использованием 9 ISSR-праймеров всего было амплифицировано 168 фрагментов, из которых 163 оказались полиморфными. Было установлено, что изученные группы плюсовых деревьев отличаются по уровню генетической изменчивости: полиморфность варьирует от 55,4 до 91,1 %; наблюдаемое число аллелей от 1,554 до 1,911; эффективное число аллелей от 1,272 до 1,484; генетическое разнообразие по Nei от 0,168 до 0,286; индекс Шеннона от 0,261 до 0,433. Генетическое расстояние между группами плюсовых деревьев составило 0,0328 – 0,1195.

Ключевые слова: ель гибридная (*Picea x fennica* (Regel) Kot.); плюсовые деревья; генетическая изменчивость; ISSR-маркеры.

Введение. Изучение популяционно-генетической структуры, внутривидового разнообразия и дифференциации популяций основных лесобразующих видов хвойных является одним из приоритетных направлений биологии. При этом большое внимание уделяется изучению генетического разнообразия, которое является компонентом общего биологического разнообразия и сохранение которого рассматривается наукой в качестве одной из важнейших проблем человечества [1].

Полученные материалы по исследованию генетических процессов, протекающих в природных популяциях, могут иметь не только теоретическое значение для познания закономерностей внутривидовой дифференциации и микроэволюции вида, но и позволяют разработать возможные пути сохранения генофонда и селекционного улучшения вида на популяционной основе [2, 3]. Особую актуальность в связи с этим имеет изучение внутривидовой изменчивости основных лесобразующих видов, к числу которых от-

носится ель, генетическое разнообразие которой остается малоизученным.

Научные основы мониторинга биоразнообразия и организации неистощительной эксплуатации лесных ресурсов требуют получения количественных оценок популяционно-генетических параметров, что возможно лишь на базе молекулярно-генетических маркеров. Изоферментные молекулярные маркеры продолжают оставаться одним из главных инструментов изучения популяционно-генетической структуры, внутри- и межвидовой дифференциации и гибридизации древесных растений. Несмотря на развитие методов анализа изменчивости ДНК, во всем мире с помощью изоферментов до сих пор получают значительную долю информации о состоянии генофонда хвойных и других древесных растений [4]. Так, с помощью этого метода была изучена генетическая изменчивость и дифференциация популяций ели сибирской в Западном Саяне [5], в Западном Забайкалье и Монголии [6], генетический поли-

морфизм популяций ели Европейского Севера [7], генетическая дифференциация ели европейской в контрастных экологических условиях на территории Московской области [8, 9]. Установлено, что произрастающая в Западном Саяне ель сибирская характеризуется достаточно высоким уровнем внутривидового и низким уровнем межвидового разнообразия [5], а существенные различия в генетической структуре между бурятскими и монгольскими популяциями обусловлены, по-видимому, значительной изоляцией монгольской популяции, приведшей к снижению уровня генетического разнообразия в этой популяции и формированию специфической генетической структуры, проявляющейся в утрате или значительном снижении частот аллелей, появлению новых аллелей, в том числе уникальных [6]. Северотаяжские популяции ели также характеризуются некоторой генетической неоднородностью [7].

Таким образом, многочисленные исследования разных видов ели на основе анализа изоферментных систем показывают существенную генетическую дифференциацию и неоднородность популяций в разных географических районах. В то же время, необходимо отметить, что в последние годы на смену изоферментным молекулярным маркерам приходят более информативные ДНК-маркеры, которые позволяют изучать непосредственный полиморфизм нуклеотидов ДНК. Разные виды ДНК-маркеров успешно применяются для изучения генетического разнообразия и дифференциации популяций древесных видов [10–15 и др.]. В том числе были проведены исследования ели сибирской в Пермской области, по результатам которых с помощью ISSR-маркеров определены показатели генетической гетерогенности и генетической структуры популяций *Picea obovata* [16]. Данные исследования показали высокий уровень полиморфизма ДНК в природных популяциях (70,15 %). Однако нами не были найдены данные об использовании ДНК-маркеров для изуче-

ния генетических характеристик плюсовых деревьев ели, отобранных в разных географических районах. Для разработки стратегии сохранения генетического разнообразия ели необходимо установить уровень генетического разнообразия, характерный для отобранных плюсовых деревьев, и степень генетической дифференциации групп плюсовых деревьев из разных географических районов.

Цель работы – изучить генетическое разнообразие и дифференциацию клонов плюсовых деревьев ели из разных географических районов.

Материалы, методы и объект исследования. Объектом исследования являются вегетативные потомства плюсовых деревьев ели, произрастающие на архиве клонов в Учебно-опытном лесхозе Республики Марий Эл. Архив клонов был создан в 1991 году прививкой черенков на шестилетние подвойные растения. На архиве представлены клоновые потомства плюсовых деревьев из Республики Марий Эл, Удмуртской Республики, Нижегородской, Кировской и Пермской областей Российской Федерации. На архиве произрастают клоновые потомства ели гибридной (финской) (*Picea x fennica* (Regel) Kom.), так как плюсовые деревья были отобраны в зоне интрогрессивной гибридизации ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.) и ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) [17].

В качестве растительного материала, служащего источником ДНК, в эксперименте использовалась хвоя, которая была высушена при комнатной температуре. Выделение суммарной ДНК производилось по протоколу J.J. Doyle и J.L. Doyle [18]. Гомогенизация сухой хвои осуществлялась с применением гомогенизатора SpeedMill Plus (Analyticjena). Для анализа были взяты девять полиморфных ISSR-праймеров, рекомендованных для использования при идентификации плюсовых деревьев ели [19]. Характеристика использованных в эксперименте ISSR-праймеров приведена в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика ISSR- праймеров

Праймер	Секвиенс (5'-3')	Температура отжига, °C
(GA) ₉ T	GAGAGAGAGAGAGAGAT	65
(AC) ₈ C	ACACACACACACACC	65
(CA) ₆ RY	CACACACACACAAGCT	60
(CA) ₆ RG	CACACACACACAAGG	60
(CA) ₆ (GT)	CACACACACACAGT	60
(CA) ₆ (AC)	CACACACACACAAC	60
(AG) ₈ C	AGAGAGAGAGAGAGAGC	60
(GA) ₈ T	GAGAGAGAGAGAGAGAT	60
(AG) ₈ YT	AGAGAGAGAGAGAGAGGCT	65

Полимеразную цепную реакцию (ПЦР) проводили в следующих условиях: 1 мкл ПЦР-буфера; 0,2 мкл 10 Мм dNTPs; 0,1 мкл 100 мкМ праймера; 1 мкл образца ДНК; 0,1 мкл Taq-полимеразы (2 ед/мкл); 7,6 мкл воды; общий объем реакционной смеси 10 мкл. Для проведения реакции использовали коммерческий набор реактивов «Epicyclo PCR kit» (ЗАО Евrogen). Амплификация ISSR-фрагментов проводилась при следующем режиме: 5 мин денатурация при 94°C, 0,5 мин денатурация при 94°C, 45 сек отжиг при 60–65°C, элонгация 45 сек при 72°C; 7 мин до-стройка цепей ДНК при 72°C, 45 циклов амплификации. Реакции проводили в тонкостенных пробирках, объемом 200 мкл на амплификаторе MJ MiniTM Gradient Thermal Cycler (BIO-RAD).

Анализ продукта ПЦР проводился при помощи электрофореза в 1,5 %-ном агарозном геле. Разделение амплифицированных фрагментов выполняли в электрофорезной камере PowerPacTM Universal (BIO-RAD) в TBE буфере (0,89 М Трис-ОН, 0,89 М борная кислота, 50 мМ ЭДТА) с добавлением бромистого этидия в течение 2,5–3 часов при напряжении электрического поля 70 V.

Визуализацию ДНК, обработку и анализ полученных изображений проводили с помощью системы гель-документация GelDoc 2000 (BIO-RAD) с использованием программного пакета Quantity One® Version 4.6.3. Наличие амплифицированных фрагментов ДНК в гелях установили по интенсивности окраски. Для дальнейшего

определения длины амплифицированных фрагментов ДНК в крайние дорожки геля вносили стандарт, в качестве которого служит ДНК-маркер с фрагментами известной длины. В исследованиях в качестве стандарта использовался ДНК-маркер 100bp+1.5kb+3kb (ООО «СибЭнзим»).

ISSR-профили анализировались по наличию (1) или отсутствию (0) полос на геле, соответствующих фрагментам определенной длины, и математически обрабатывались в среде POPGEN Version 1.3.2 [20]. На основании полученных данных рассчитывались относительные частоты фрагментов. Полученные частоты ISSR-фрагментов использовались для оценки основных параметров генетической изменчивости клоновых потомств плюсовых деревьев ели из разных областей России. Для этого были рассчитаны следующие параметры оценки генетической изменчивости: наблюдаемое число аллелей – Na, эффективное число аллелей – Ne, общее генетическое разнообразие по Nei – H, индекс Шеннона – I. Оценка генетической дифференциации изученных групп плюсовых деревьев проводилась на основе вычисления генетической дистанции Nei и построения дендрограммы.

Результаты исследования. По результатам ISSR-анализа ДНК, выделенной из хвои клоновых потомств плюсовых деревьев ели разного происхождения, было установлено, что 9 ISSR-праймеров позволяет определить 168 амплифицированных фрагментов ДНК, из которых 163 были полиморфными (табл. 2, рис. 1).

Таблица 2

Результаты ПЦР-анализа ДНК клонов плюсовых деревьев ели с ISSR-праймерами

Праймеры	Количество амплифицированных фрагментов ДНК	Длины амплифицированных фрагментов ДНК, п.н.
(GA) ₉ T	20	200 - 2540
(AC) ₈ C	5	470 - 950
(CA) ₆ RY	18	210 - 1930
(CA) ₆ RG	19	210 - 1480
(CA) ₆ (GT)	20	300 - 2210
(CA) ₆ (AC)	16	210 - 1710
(AG) ₈ C	23	300 - 2120
(GA) ₈ TC	26	260 - 2480
(AG) ₈ YT	21	200 - 1980
Итого	168	200-2540

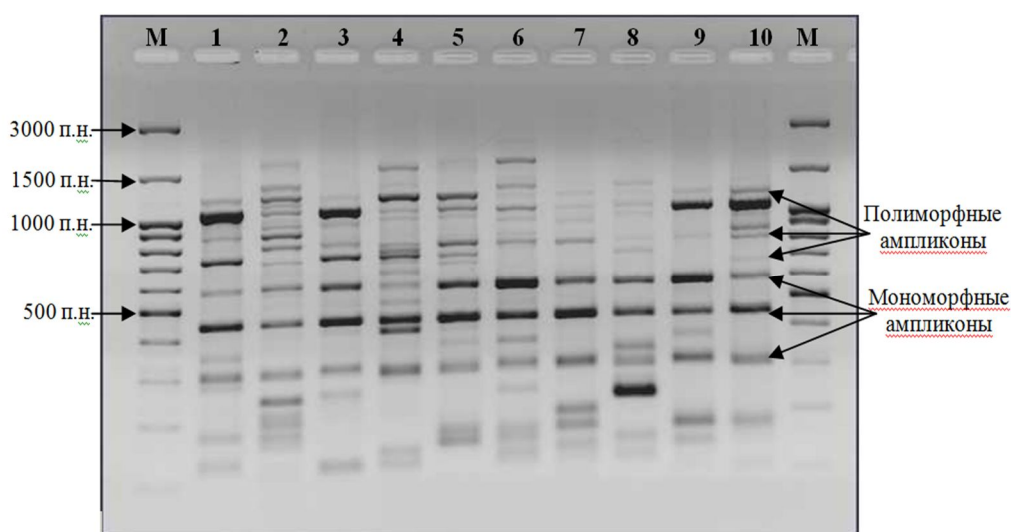


Рис. 1. Результаты ПЦР-детекции ДНК плюсовых деревьев ели с праймером (AG)₈YT: 1-10 – номера анализируемых образцов; М – ДНК-маркер 100bp+1.5kb+3kb (СибЭнзим)

Число амплифицированных фрагментов ДНК в общей выборке растений варьировало в зависимости от праймера от 5 у (AC)₈C до 26 у (GA)₈TC. В среднем при ISSR-анализе у ели один праймер инициировал амплификацию 19 фрагментов ДНК.

Доля полиморфных локусов в общей выборке в среднем составила 97,0 %, при этом в разных группах плюсовых деревьев данный показатель варьировал от 54,2 % в Пермской области до 91,1 % в Республике Марий Эл (табл. 3). Наблюдаемое число аллелей на локус (в нашем случае на фрагмент ДНК) для всех плюсовых деревьев составило 1,971, а эффективное чис-

ло аллелей на локус (N_e) – 1,463. У плюсовых деревьев из Республики Марий Эл и Нижегородской области данные показатели оказались достаточно близкими к установленному видовому уровню. Так, наблюдаемое число аллелей составило 1,911 и 1,887, а эффективное число аллелей 1,441 и 1,484 в Республике Марий Эл и Нижегородской области соответственно. Для плюсовых деревьев из Удмуртской Республики, Пермской и Кировской областей было установлено более низкое аллельное разнообразие, наблюдаемое число аллелей варьировало от 1,542 до 1,577, а эффективное число аллелей от 0,272 до 1,341.

Таблица 3

Основные показатели генетической изменчивости плюсовых деревьев ели

Происхождение	Поли- морфность, P, %	Наблюдаемое число аллелей, Na	Эффективное число аллелей, Ne	Генетическое разнообразие по Nei, H	Индекс Шеннона, I
Республика Марий Эл	91,1	1,911	1,441	0,270	0,418
Нижегород	88,7	1,887	1,484	0,286	0,433
Удмуртская Республика	55,4	1,554	1,341	0,199	0,299
Кировская область	57,7	1,577	1,272	0,168	0,261
Пермская область	54,2	1,542	1,286	0,172	0,264
В целом по виду	97,0	1,970	1,463	0,283	0,439

Молекулярно-генетический анализ ДНК с использованием ISSR-метода показал, что самые высокие значения уровня генетического разнообразия наблюдаются у групп плюсовых деревьев из Республики Марий Эл и Нижегородской области, у которых уровень генетической изменчивости соответствует видовому уровню. Так, например, генетическое разнообразие по Nei (H) в целом для всех изученных плюсовых деревьев составило 0,283, в то время как у плюсовых деревьев из Республики Марий Эл – 0,270, а из Нижегородской области – 0,286. Для плюсовых деревьев из Удмуртской Республики, Пермской и Кировской областей был установлен более низкий уровень генетического разнообра-

зия. Для этих групп плюсовых деревьев генетическое разнообразие по Nei (H) находится в пределах от 0,168 до 0,199, а индекс Шеннона (I) от 0,261 до 0,299.

Коэффициент подразделенности популяций (G_{st}) показывает, что на межпопуляционную компоненту генетического разнообразия ели приходится 21,5 % разнообразия, то есть изученные группы плюсовых деревьев сильно дифференцированы. Для оценки генетической дифференциации клоновых потомств плюсовых деревьев ели разного происхождения была рассчитана генетическая дистанция (табл. 4) и на основании невзвешенного парно-группового метода была построена дендрограмма (рис. 2).

Таблица 4

Генетическая дистанция по Nei (под диагональю) и генетическая идентичность (над диагональю) клоновых потомств плюсовых деревьев ели разного географического происхождения

Популяция ID	Республика Марий Эл	Нижегород Новгород	Удмуртская Республика	Кировская область	Пермская область
Республика Марий Эл		0,9677	0,8874	0,9329	0,9311
Нижегород Новгород	0,0328		0,9045	0,9152	0,9213
Удмуртская Республика	0,1195	0,1003		0,8168	0,8241
Кировская область	0,0695	0,0886	0,2024		0,9580
Пермская область	0,0714	0,0820	0,1934	0,0430	

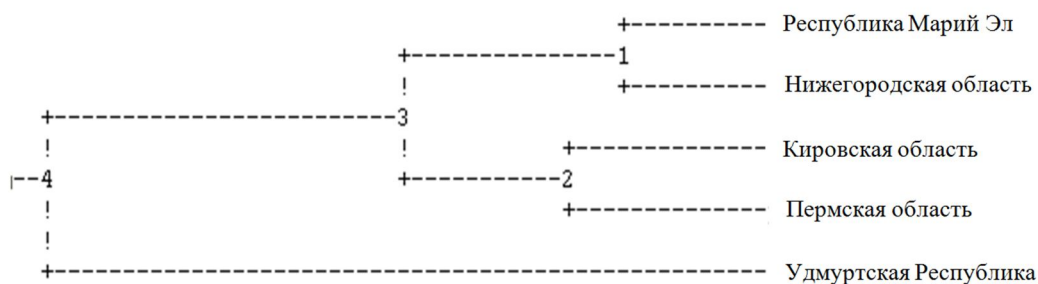


Рис. 2. Дендрограмма, построенная на основании коэффициентов генетической дистанции Nei , показывающая степень генетической дифференциации клоновых потомств плюсовых деревьев ели различного географического происхождения

Все пять происхождений ели генетически дифференцированы друг от друга, при этом наиболее генетически удаленными являются группы плюсовых деревьев из Республики Марий Эл и Удмуртской Республики (0,1195). Наименьшее генетическое расстояние наблюдается между деревьями ели из Республики Марий Эл и Нижегородской области (0,0328).

Дендрограмма показывает, что изученные группы плюсовых деревьев можно разделить на 3 кластера: 1 – плюсовые деревья из Республики Марий Эл и Нижегородской области; 2 – плюсовые деревья из Кировской и Пермской областей; 3 – плюсовые деревья из Удмуртской Республики. Однако, несмотря на то, что между изученными происхождениями были установлены генетические различия, из 168 полученных фрагментов ДНК не было выявлено ампликонов, присутствующих только в одной группе и отсутствующих в других.

Таким образом, вычисленные на основе ISSR-анализа значения генетических параметров позволяют говорить о том, что изученные плюсовые деревья ели отличаются по уровню генетического разнообразия и имеют существенную генетическую дифференциацию.

Выводы

Исследования генетической изменчивости и дифференциации плюсовых деревьев ели из разных географических районов на основе ISSR-анализа позволяют сделать следующие выводы.

1. Девять ISSR-праймеров позволили выявить 168 фрагментов ДНК, 97,0 % из которых оказались полиморфными. Доля полиморфных локусов у групп плюсовых деревьев из разных географических районов варьировала от 54,2 до 91,1 %. Число амплифицированных фрагментов ДНК варьировало в зависимости от праймера от 5 у $(AC)_8C$ до 26 у $(GA)_8TC$, длина полученных ампликонов от 200 до 2540 пар нуклеотидов.

2. Изученные группы плюсовых деревьев отличаются по уровню генетического разнообразия. Плюсовые деревья из Республики Марий Эл и Нижегородской области характеризуются высоким уровнем генетического разнообразия. Для данных групп установлены значения генетических параметров, сопоставимые с видовым уровнем. Так, наблюдаемое число аллелей составило для этих происхождений 1,911 и 1,887 при общем значении по виду 1,97; эффективное число аллелей – 1,441 и 1,484 при общем значении по виду 1,463; генетическое разнообразие по Nei – 0,270 и 0,286 при общем значении по виду 0,283; индекс Шеннона – 0,418 и 0,433 при общем значении по виду 0,439. Для групп плюсовых деревьев из Удмуртской Республики, Пермской и Кировской областей установлено более низкое генетическое разнообразие: наблюдаемое число аллелей составило 1,554; 1,577 и 1,542; эффективно число аллелей – 1,341; 1,272 и 1,286; генетическое разнообразие по Nei – 0,199;

0,168 и 0,172; индекс Шеннона 0,299; 0,261 и 0,264 соответственно по регионам.

3. Генетическая дистанция между проанализированными группами плюсовых деревьев варьирует от 0,0328 до 0,1195, при этом наиболее генетически удаленными являются группы плюсовых деревьев из Республики Марий Эл и Удмуртской Республики, а наименьшее генетическое рас-

стояние наблюдается между плюсовыми деревьями ели из Республики Марий Эл и Нижегородской области. Проанализированные группы плюсовых деревьев можно разделить на 3 кластера: 1 – плюсовые деревья из Республики Марий Эл и Нижегородской области; 2 – плюсовые деревья из Кировской и Пермской областей; 3 – плюсовые деревья из Удмуртской Республики.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 - 2013 годы» при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение № 14.132.21.1331) с использованием оборудования ЦКП «ЭБЭЭ» ФГБОУ ВПО «ПГТУ».

Список литературы

1. Динамика популяционных генофондов при антропогенных воздействиях/ под ред. Ю. П. Алтухова. – М.: Наука, 2004. – 619 с.

2. Путенихин, В. П. Популяционная структура и сохранение генофонда хвойных видов на Урале: Автореф. дисс. ...д-ра биол. наук. – Красноярск, 2000. – 48 с.

3. Ирошников, А. И. О концепции и программе генетического мониторинга популяций лесных древесных растений / А.И. Ирошников // Лесоведение. – 2002. – № 1. – С.58-64.

4. Политов, Д. В. Генетика популяций и эволюционные взаимоотношения видов сосновых (сем. Pinaceae) Северной Евразии: Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. – М.: Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, 2007. – 47 с.

5. Кравченко, А. Н. Генетическая изменчивость и дифференциация популяций ели сибирской в Западном Саяне/А. Н. Кравченко, А. Я. Ларионова, Д. В. Политов, М. М. Белокоп, Ю. С. Белокоп// Вестник ТГУ. Приложение. – 2004. – № 10. – С. 38-40.

6. Кашапова, М. М. Генетическое разнообразие и дифференциация популяций ели сибирской в Западном Забайкалье и Монголии//М. М. Кашапова, А. Н. Кравченко, А. К. Экрат, А. Я. Ларионова// Молодёжь и наука: Сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, посвященной 155-летию со дня рождения К. Э. Циолковского [Электронный ресурс]. — Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2012. <http://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/7842>.

References

1. Dinamika populyatsionnykh genofondov pri antropogennykh vozdeystviyakh [Dynamics of Population Genetic Fond under Anthropogenic Impact], Under the Editorship of Altukhov Yu.P.Moscow, Nauka Publ., 2004. 619 p.

2. Putenikhin V. P. Populyatsionnaya struktura i sokhranenie genofonda khvoynnykh vidov na Urale. Avto ref. diss.dokt. biol. nauk [Population Structure and Conservation of Genetic Fond of Coniferous Trees in the Ural Dr. biol. sci. diss]. Krasnoyarsk, 2000. 48 p.

3. Iroshnikov A. I. O kontseptsii i programme geneticheskogo monitoringa populyatsiy lesnykh drevesnykh rasteniy [On Conception and Program of Genetic Monitoring of Forest Species Populations]. Lesovedenie [Dendrology]. 2002. No1. P. 58-64.

4. Politov D. V. Genetika populyatsiy i evolyutsionnye vzaimootnosheniya vidov sosnovykh (sem. Pinaceae) Severnoy Evrazii. Avto ref. diss.dokt. biol. nauk [Population Genetics and Evolution Relationship of Pine Species (f. Pinaceae).in Northern Eurasia. Dr. biol. sci. diss]. Moscow, Vavilov Institute of General Genetics (Russian Academy of Sciences) 2007, 47 p.

5. Kravchenko A. N., Larionova A. Ya., Politov D. V., Belokon M. M., Belokon Yu. S. Geneticheskaya izmenchivost i differentsiatsiya populyatsiy eli sibirskoy v Zapadnom Sayane [Genetic Variation and Differentiation of Picea Obovata Population in Western Sayan]. Vestnik TGU [Vestnik of TGU]. 2004. No 10. P. 38-40.

6. Kashapova M. M., Kravchenko A. N., Ektrat A. K., Larionova A. Ya. Geneticheskoe raznoobrazie i differentsiatsiya populyatsiy eli sibirskoy v Zapadnom Zabaykale i Mongolii [Genetic Diversity and Differentiation of Picea Obovata Population in the West of Transbaikalia and Mongolia]. Molodezh i nauka: Sbornik materialov VIII Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh, posvyashchennoy 155-letiyu so dnya rozhdeniya K. E. Tsiolkovskogo [Youth and Science: Materials of VIII Russian Scientific and Technical

7. Сурсо, М. В. Генетический полиморфизм популяций хвойных Европейского Севера/М. В. Сурсо//Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2009. – Т. 11. – № 1 (3). – С. 389-393.

8. Лебединская, Е. В. Генетическая дифференциация ели европейской *Picea abies* (L.) Karst. в контрастных экологических условиях на территории Московской области/Е. В. Лебединская, М. М. Белоконов, Ю. С. Белоконов, Е. А. Мудрик, Д. В. Политов//Актуальные проблемы генетики и молекулярной биологии в рамках фестиваля науки: тезисы докладов всероссийской молодежной конференции в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, Уфа: Башкирский ГАУ, 2012. – С. 16.

9. Потенко, В. В. Генетическая изменчивость и дифференциация популяций ели аянской на Сихотэ-Алине//В. В. Потенко, Ю. Д. Кныш // Лесоведение. – 2003. – № 4. – С.23-31.

10. Mariette, S. P. Genetic diversity within and among *Pinus pinaster* populations: comparison between AFLP and microsatellite markers // S. P. Mariette, D. Chagneat at al. // Heredity. – 2001. – Vol. 86. – 469-479.

11. Яковлев, И.А. Генетическая дифференциация дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в Европейской части России на основе RAPD-маркеров / И.А.Яковлев, Й. Клейншмит // Генетика. – 2002. – Т. 38, № 2. – С.207-215.

12. Semerikov, V.L. Nuclear and cytoplasmic variation within and between Eurasian *Larix* (Pinaceae) species /V.L.Semerikov, M.Lascoux // Amer.J.Bot. – 2003. – Vol. 90, No 8. – P.1113-1123.

13. Козыренко, М.М. Генетическая изменчивость и взаимоотношения лиственниц Сибири и Дальнего Востока по данным RAPD-анализа / М.М. Козыренко, Е.В. Артбкова, Г.Д. Реунова и др. // Генетика. – 2004. – Т. 40, № 4. – С.506-515.

14. Семериков, С.А. Изменчивость хлоропластных микросателлитных локусов у пихты си-

Conference for Students, Postgraduate Students and Young Researches, Dedicated to the 155th Anniversary of K. E. Tsiolkovskiy]. Krasnoyarsk, 2012. URL: <http://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/7842>.

7. Surso M. V. Geneticheskiy polimorfizm populyatsiy khvoynykh Evropeyskogo Severa [Genetic Polymorphism of the Conifers Population in the North of Europe]. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. [News of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences].2009. No1 (3). P. 389-393.

8. Lebedinskaya E. V., Belokon M. M., Belokon Yu. S., Mudrik E. A., Politov D. V. Geneticheskaya differentsiatsiya eli evropeyskoy *Picea abies* (L.) Karst. v kontrastnykh ekologicheskikh usloviyakh na territorii Moskovskoy oblasti [Genetic Differentiation of *Picea abies* (L.) Karst. in Contrast Ecological Conditions of Moscow Oblast]. Aktualnye problemy genetiki i molekulyarnoy biologii v ramkakh festivala nauki: tezisy dokladov vserossiyskoy molodezhnoy konferentsii v ramkakh federalnoy tselevoy programmy «Nauchnye i nauchno-pedagogicheskie kadry innovatsionnoy Rossii» na 2009-2013 gody [Actual Problems of Genetics and Molecular Biology within the Scientific Festival: Abstracts of Reports of Russian Conference for Young People within the Federal Target Program «Scientific and Pedagogic Personnel for Innovative Russia» for 2009-2013]. Ufa, 2012. P. 16

9. Potenko V. V., Knysh Yu. D. Geneticheskaya izmenchivost i differentsiatsiya populyatsiy eli ayanskoy na Sikhote-Aline [Genetic Variation and Differentiation of *Picea Jezoensis* Population on Sikhote-Aline]. Lesovedenie [Dendrology]. 2003. No 4. P. 23-31.

10. Mariette, S. P. Genetic Diversity within and among *Pinus Pinaster* Populations: Comparison between AFLP and Microsatellite Markers. Heredity. 2001. No. 86. P. 469-479.

11. Yakovlev I.A., Kleynshmit Y. Geneticheskaya differentsiatsiya duba chershchatogo (*Quercus robur* L.) v Evropeyskoy chasti Rossii na osnove RAPD-markeroov [Genetic Differentiation of *Quercus robur* L. in the European Part of Russia with the Use of RAPD Marker]. Genetika [Genetics.]. 2002. No 32 (2). P. 207-215.

12. Semerikov V.L. Nuclear and Cytoplasmic Variation within and between Eurasian *Larix* (Pinaceae) Species. Amer.J.Bot. 2003. No. 90 (8). P. 1113-1123.

13. Kozyrenko M.M., Artbkova E.V., Reunova G.D., etc. Geneticheskaya izmenchivost i vzaimootnosheniya listvennits Sibiri i Dalnego Vostoka po dannym RAPD analiza [Genetic Variation and Relationship between *Larix* of Siberia and Far East Based on RAPD Analysis]. Genetika [Genetics]. 2004. No 40 (4). P. 506-515.

14. Semerikov S. A., Semerikov V.L. Izmenchivost khloroplastnykh mikrosatellitnykh lokusov u pikhty

бирской (*Abies sibirica* Ledeb.) и двух дальневосточных видов пихт *A. nerhrolepis* (Trautv.) Maxim. и *A. sachalinensis* Fr. Schmidt / Семериков С. А., Семериков В. Л. // Генетика. – 2007. – Т. 43, № 12. – С. 1637-1646.

15. Новиков, П.С. Изменчивость плюсовых деревьев сосны обыкновенной на архиве клонов по ISSR-маркерам / П.С. Новиков, О.В. Шейкина, Т.Н. Милютин // Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2011. – № 3. – С. 82-87

16. Нечаева, Ю.С. Молекулярно-генетические исследования *Picea obovata* Ledeb. в Пермском крае/ Ю. С. Нечаева, Я. В. Пришнинская, М. В. Rogozin, С. В. Боронникова// Актуальные проблемы генетики и молекулярной биологии в рамках фестиваля науки: тезисы докладов всероссийской молодежной конференции в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2012. – С. 20.

17. Правдин, Л.Ф. Ель европейская и ель сибирская в СССР / Л.Ф. Правдин. – М.: Наука, 1975. – 150 с.

18. Doyle, J.J. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue / J.J. Doyle, J.L. Doyle // Phytochemical Bulletin. – 1991. – № 19. – P. 11-15.

19. Шейкина, О. В. Разработка методики идентификации клонов плюсовых деревьев ели обыкновенной (*Picea Abies* L.) с использованием ISSR-маркеров / О. В. Шейкина, А. А. Прохорова, П. С. Новиков, Т. Н. Криворотова// Научный журнал КубГАУ. – № 82 (08). – 2012. – [Электронный ресурс]. -<http://ej.kubagro.ru/2012/09/21.pdf>

sibirskoy (*Abies sibirica* Ledeb.) i dvukh dalnevostochnykh vidov pikht (*A.nerhrolepis* (Trautv.) Maxim. i *A. Sachalinensis* Fr. Schmidt) [Variation of Chloroplast Microsatellite Locus in Siberian Fir (*Abies sibirica* Ledeb.) and Two Far Eastern Types of Fir - (*A.nerhrolepis* (Trautv.) Maxim. and *A. Sachalinensis* Fr. Schmidt)]. Genetika [Genetics]. 2007. No 43 (12). P. 1637-1646.

15. Novikov P.S., Shekina O.V., Milyutina T.N. Izmenchivost plyusovykh derevev sosny obyknovennoy na arkhive klonov po ISSR markeram [Variation of Pinus Sylvestris Plus Trees on the Base of Clone Archives by ISSR Markers]. Vestnik MarGTU [Vestnik of MarSTU]. 2011. No 3. P. 82-87.

16. Nechaeva Yu. S., Prishnivskaya Ya. V., Rogozin M. V., Boronnikova S. V. Molekulyarno-geneticheskie issledovaniya Picea obovata Ledeb. v Permskom krae [Molecular – Genetic Study of Picea Obovata Ledeb. in the Perm Region]. Aktualnye problemy genetiki i molekulyarnoy biologii v ramkakh festivala nauki: tezisy dokladov vserossiyskoy molodezhnoy konferentsii v ramkakh Federalnoy tselevoy programmy «Nauchnye i nauchno-pedagogicheskie kadry innovatsionnoy Rossii» na 2009-2013 gody [Actual Problems of Genetics and Molecular Biology within Scientific Festival: Abstracts of the Reports of Russian conference for Young People within Federal Target Program «Scientific and Pedagogic Personnel for Innovative Russia» for 2009-2013]. Ufa, 2012. P. 20.

17. Pravdin L. F. El evropeyskaya i el sibirskaya v SSSR [European and Siberian Spruce in the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 1975. 150 p.

18. Doyle J.J., Doyle J.L. A Rapid DNA Isolation Procedure for Small Quantities of Fresh Leaf Tissue. Phytochemical Bulletin. 1991. No 19. P. 11-15

19. Sheykina O. V., Prokhorova A. A., Novikov P. S., Krivorotova T. N. Razrabotka metodiki identifikatsii klonov plyusovykh derevev eli obyknovennoy (*Picea Abies* L.) s ispolzovaniem ISSR markerov [Developing of the Methodology for Identification of Picea abies L. Clones with the Use of ISSR Markers]. Nauchnyy zhurnal KubGAU [Scientific Journal KubGAU]. 2012. No 82(08). URL: <http://ej.kubagro.ru/2012/09/21.pdf>

Статья поступила в редакцию 06.05.13.

ПРОХОРОВА Александра Александровна – аспирант кафедры лесной селекции, недревесных ресурсов и биотехнологии, Поволжский государственный технологический университет (Российская Федерация, Йошкар-Ола). Область научных интересов – селекция и лесное семеноводство ели. Автор 18 публикаций.

E-mail: a_katavas@rambler.ru

ШЕЙКИНА Ольга Викторовна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесной селекции, недревесных ресурсов и биотехнологии, Поволжский государственный технологический университет (Российская Федерация, Йошкар-Ола). Область научных интересов – молекулярно-генетические исследования древесных видов, использование ДНК-технологий в лесном семеноводстве, селекция древесных видов. Автор 34 публикаций.

E-mail: SheykinaOV@volgatech.net

ГЛАДКОВ Юрий Федорович – аспирант кафедры лесной селекции, недревесных ресурсов и биотехнологии, Поволжский государственный технологический университет (Российская Федерация, Йошкар-Ола). Область научных интересов – молекулярно-генетические исследования древесных видов. Автор одной публикации.

E-mail: glakov_yuriy@yandex.ru

PROKHOROVA Alexandra Alexandrovna – Postgraduate Student at the Chair of Forest Selection, Non-Woody Resources and Biotechnology, Volga State University of Technology (Russian Federation, Yoshkar-Ola). Research interests – selection and forest seedage of Spruce. The author of 18 publications.

E-mail: a_katavas@rambler.ru

SHEYKINA Olga Viktorovna – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at the Chair of Forest Selection, Non-Woody Resources and Biotechnology, Volga State University of Technology (Russian Federation, Yoshkar-Ola). Scientific interests – molecular-genetic researches of forest species, use of DNA methods in forest seed growing, selection of forest species. The author of 34 publications.

E-mail: ShejkinaOV@volgatech.net

GLADKOV Yuriy Fedorovich – Postgraduate Student at the Chair of Forest Selection, Non-Woody Resources and Biotechnology, Volga State University of Technology (Russian Federation, Yoshkar-Ola). Scientific interests – molecular-genetic researches of trees. The author of 1 publication.

E-mail: glakov_yuriy@yandex.ru

A. A. Prokhorova, O. V. Sheykina, Yu. F. Gladkov

GENETIC VARIATION OF VEGETATIVE OFFSPRINGS OF SPRUCE PLUS TREES ON THE BASE OF CLONES (REPUBLIC OF MARI EL)

Key words: Hybridous Spruce (*Picea x fennica* (Regel) Kom.); plus trees; genetic variability; ISSR-markers.

Following the results of researches with the use of different types of molecular and genetic markers, genetic differentiation of Spruce population was established. The differentiation appeared because of environmental exposure. However, the level of genetic differentiation of plus trees of different geographic origin and the typical for them level of genetic variability are still unclear.

The article is devoted to the study of genetic variability and differentiation of clones of plus trees of Hybridous Spruce of different geographic origin.

Assessment of extent of genetic variation and differentiation was carried out on the base of study of ISSR parts of DNA with the use of polymerase chain reaction (PCR). Vegetative offsprings of plus trees from the Republic of Mari El, Udmurt republic, Kirov oblast, Perm oblast and Nizhny Novgorod oblast were studied in the course of the research.

The studied groups of plus trees have different level of genetic variation. Thus for example, the share of polymorphous locus varies from 55,4 to 91,1%, the observed number of alleles is 1,554 - 1,911, effective alleles are 1,272 - 1,484, genetic diversity no Nei is 0,168 - 0,286, Shannon index is 0,261 - 0,433. It was also found out that groups of plus trees are genetically differentiated and genetic distance no Nei between them is 0,0328 - 0,1195. With the help of cluster analysis the tested trees were divided into 3 groups in accordance with their origin: 1 – plus trees from the Republic of Mari El and Nizhny Novgorod oblast; 2 – plus trees from the Kirov and Perm oblasts; 3 – plus trees from the Udmurt Republic.

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

УДК 630:001

КАЛИНИНУ КОНСТАНТИНУ КОНСТАНТИНОВИЧУ – 75 ЛЕТ

23 апреля 2013 года исполнилось 75 лет неугомимому исследователю, опытному и чуткому педагогу, замечательному человеку – профессору кафедры лесоводства Поволжского государственного технологического университета, доктору сельскохозяйственных наук Константину Константиновичу Калинину.



Константин Константинович Калинин родился в д. Красный Перекоп Юринского района Марийской АССР в крестьянской семье. В 1955 году окончил с серебряной медалью Марьинскую среднюю школу и поступил учиться на лесохозяйственный факультет Поволжского лесотехнического института им. М. Горького. В студенческие годы принимал активное участие в научно-исследовательской работе в студенческом научном кружке при кафедре лесоводства и дендрологии под руководством доц. А.Р. Чистякова, по результатам которой написал свою первую научную статью «Естественное лесовозобновление в связи с применяемыми рубками в сосняках Козиковского леспромпхоза Марийской АССР», опубликованную в 1962 году. В 1960 году он окончил с отличием ПЛТИ с присвоением квалификации инженера лесного хозяйства и приступил к производствен-

ной деятельности в должности лесничего Нежнурского лесничества Волжского леспромпхоза Марийской АССР.

В 1962 году К.К. Калинин поступил в аспирантуру Поволжского лесотехнического института им. М. Горького к известному ученому-лесоводу А.Р. Чистякову, под руководством которого подготовил диссертационную работу «Лесоводственная и экономическая оценка постепенных рубок в сосняках брусничных Марийской АССР», успешно защищенную в 1974 году. После окончания аспирантуры с 1966 по 1975 год, работая в аппарате Министерства лесного хозяйства Марийской АССР (вначале в должности старшего инженера отдела охраны и защиты лесов, затем главного технолога), К.К. Калинин много сделал для успешного решения задачи борьбы с вредными лесными насекомыми, в частности с восточным майским хрущом и сосновым подкорным клопом.

С 1975 по 1989 годы К.К. Калинин работал в Марийском опорном пункте Татарской лесной опытной станции Всесоюзного научно-исследовательского института лесоводства и механизации лесного хозяйства (ВНИИЛМ) в должности старшего научного сотрудника. Этот период его научно-производственной деятельности является самым плодотворным и счастливым в его жизни. Здесь он проявил себя высококвалифицированным специалистом и увлеченным исследователем, являлся ответственным исполнителем научно-исследовательских работ по изучению влияния пожаров на различные компоненты лесных экосистем и разработке на этой основе комплекса лесоводственных, лесокультурных и лесозащитных мероприятий по их восстановлению. Исполнение тем доводилось им до разработки практических рекомендаций с внедрением их в производство. В 1988 году К.К. Калинину было присвоено ученое звание «старший научный сотрудник».



Аспирант кафедры лесоводства и дендрологии К.К.Калинин (в центре), 1959

В 1989 году К.К. Калинин перешел на постоянную работу в Марийский политехнический институт (ныне ПГТУ) на должность доцента кафедры лесоводства, где продолжает работать и в настоящее время. Здесь он проявил себя как чуткий и эрудированный педагог, проводящий учебные занятия на высоком научно-техническом уровне, насыщая их данными собственных исследований, а также новейшими достижениями науки и техники, тесно увязывая их с непосредственной производственной деятельностью и современными проблемами в отрасли лесного хозяйства России. В 1993 году ему было присвоено ученое звание доцента. В течение 10 лет (1990-2000 гг.) К.К. Калинин являлся ученым секретарем диссертационного совета Д 212.115.03. В 2002 году защитил докторскую диссертацию по теме «Воздействие крупных пожаров на лесные фитоценозы и система лесохозяйственных мероприятий по ликвидации их последствий (на примере лесных пожаров 1921 и 1972 годов в Среднем Заволжье)» и занял должность профессора кафедры лесоводства. В 2008–2009 годах он принимал участие в разработке лесных планов Нижегородской и Самарской областей, Республики Марий Эл.

Юбилар является автором более 160 научных трудов и учебных пособий. Под его непосредственным руководством и личным участию разработаны «Временные рекомендации по восстановлению лесов на гарях Марийской АССР» (1976),

«Рекомендации по ведению хозяйства в лесах, поврежденных пожарами» (1986), «Рекомендации по повышению пожароустойчивости молодняков сосны» (1989), «Рекомендации по уходу за хвойно-лиственными молодняками на гарях 1972 года в Среднем лесном Заволжье» (1996), «Рекомендации по повышению пожароустойчивости насаждений» (1999). Более чем 40-летние наблюдения за динамикой лесов после пожаров Константин Константинович обобщил в виде монографии «Крупные лесные пожары в лесном Среднем Заволжье и система лесохозяйственных мероприятий по ликвидации их последствий» (2012).

За значительный вклад в приумножение лесных богатств России и Республики Марий Эл он награжден значком Министерства лесного хозяйства РСФСР «За сбережение и приумножение лесных богатств РСФСР» (1969), серебряной медалью ВДНХ СССР (1987), медалью «Ветеран труда» (1988), ему присвоено почетное звание «Заслуженный лесовод Республики Марий Эл» (2000). К.К. Калинин является членом-корреспондентом Международной академии наук по экологии и безопасности жизнедеятельности (МАНЭБ).

Константин Константинович всегда находил и находит время для живого общения со студентами и коллегами, которые его очень уважают и ценят. Здоровья Вам, дорогой юбиляр! Благодарных Вам студентов и аспирантов, зеленый свет Вашим идеям!

Редколлегия журнала

Статья поступила в редакцию 23.04.13.

KONSTANTIN KONSTANTINOVICH KALININ IS 75

Professor of the Chair of Forestry and Doctor of Agricultural Sciences Konstantin Konstantinovich Kalinin, who is a tireless researcher, experienced and tactful teacher and wonderful man, was 75 years old on the 23th of April 2013.

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

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

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

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

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

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

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

Требования к оригиналам предоставляемых работ

Структура научной статьи

1. Аннотация (3–4 предложения).
2. Ключевые слова или словосочетания (не более 10) отделяются друг от друга точкой с запятой.
3. Введение (оценка состояния вопроса, основанная на обзоре литературы с мотивацией актуальности; выявленное противоречие, позволяющее сформулировать проблемную ситуацию).
4. Цель работы, направленная на преодоление проблемной ситуации (1–2 предложения).
5. Решаемые задачи, направленные на достижение цели.
6. Математическое, аналитическое или иное моделирование.
7. Техника эксперимента и методика обработки или изложение иных полученных результатов.
8. Интерпретация результатов или их анализ.
9. Выводы, отражающие новизну полученных результатов, показывающих, что цель, поставленная в работе, достигнута.

Требования к оформлению статьи

Статья должна быть предоставлена в электронном виде и компьютерной распечатке (2 экз.) на бумаге формата А4. Шрифт Times New Roman, размер шрифта 12 пт, межстрочный интервал одинарный. Поля: внутри – 2 см, верхнее, нижнее, снаружи – 3 см (зеркальные поля), абзацный отступ первой строки на 0,75 см.

На первой странице статьи слева печатается УДК (размер шрифта 12 пт, прямой, светлый) без отступа. Ниже, справа – инициалы, фамилия автора (размер шрифта 14 пт, курсив, полужирный). Ниже, по центру – название статьи (размер шрифта 14 пт, прямой, полужирный, прописной).

Далее размещается аннотация (выравнивание по ширине, размер шрифта 12 пт, курсив, отступ слева и справа 1 см). Аналогично оформляются ключевые слова. Аннотация и ключевые слова статьи предоставляются на **русском и английском языках**.

Также необходимо предоставить **авторское резюме** статьи на русском и английском языках (не менее 100–250 слов).

Формулы и отдельные символы набираются с использованием редакторов формул Microsoft Equation или Math Type (не вставлять формулы из пакетов MathCad и MathLab, а также не следует использовать стандартную вставку математических формул или построение собственных формул с помощью библиотеки математических символов).

Иллюстрации. Схемы, графики, диаграммы и т.п. принимаются только в векторных форматах (Word, Excel, Visio, CorelDraw, Adobe Illustrator и др.). Графический материал принимается только в черном-белом изображении, должен быть четким и не требовать перерисовки. Графики должны выделяться линиями разного стиля (**не делать их цветными**) или отмечаться цифрами. Фотографии и скриншоты должны выполняться в растровых форматах (tiff, bmp, png и др.) достаточного расширения (300 dpi) и чёткости.

Таблицы и рисунки должны быть вставлены в текст после абзацев, содержащих ссылку на них.

Размеры иллюстраций не должны превышать размеров текстового поля (не более 15 см).

Список литературы оформляется согласно порядку ссылок в тексте (где они указываются в квадратных скобках) и обязательно в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 в двух вариантах:

1) на русском;

2) на языке оригинала латинскими буквами (References). Если русскоязычная статья была переведена на английский язык и опубликована в английской версии, то необходимо указывать ссылку из переводного источника. Библиографические описания российских публикаций составляются в следующей последовательности: авторы (транслитерация), перевод названия статьи (монографии) в транслитерированном варианте, перевод названия статьи (монографии) на английский язык в квадратных скобках, название источника (транслитерация, курсив), выходные данные с обозначениями на английском языке.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Статья должна быть подписана автором. После подписи автора и даты указываются его фамилия, имя, отчество (полностью), место работы, ученая степень, должность, область научных интересов, количество опубликованных работ, телефон, e-mail, домашний адрес.

К статье прилагаются следующие документы:

- рекомендация кафедры;
- экспертное заключение о возможности опубликования;
- рекомендация научного руководителя (для аспирантов и соискателей).

Материалы, не соответствующие вышеуказанным требованиям, не рассматриваются.

Адрес для переписки: 424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина 3, ПГТУ,
редакция журнала «Вестник ПГТУ», **e-mail:** vestnik@volgatech.net

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

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