



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

ВЕСТНИК

1(25)

2015

январь-март

ПОВОЛЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научный журнал

Издаётся с ноября 2007 года

Выходит четыре раза в год

СЕРИЯ «Лес. Экология. Природопользование»

Журнал включён в систему РИНЦ, ULRICH'S PERIODICALS DIRECTORY и ПЕРЕЧЕНЬ ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёных 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:

424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

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 26.03.15.

Формат 60×84 1/8. Усл. п. л. 11,6.

Тираж 500 экз. Заказ

Дата выхода в свет: 30.03.15.

Цена свободная

Поволжский государственный

технологический университет

424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Отпечатано с готового оригинал-макета

в ООО ИПФ «Стринг»

424006, Йошкар-Ола,

ул. Строителей, 95

Главный редактор

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

Редакционный совет

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

(*председатель*)

Д. И. Мухортов, д-р с.-х. наук, доцент

(*зам. председателя*)

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

Ioannis Z. Gitas, д-р философии в области геоинформационных систем и дистанционного зондирования (Университет Кембриджа, Великобритания), ассоциат-профессор Университета Аристотеля (Салоники, Греция)

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

Cecil C. Konijnendijk, д-р наук в области лесной политики и экономики (Университет Йюенсуу, Финляндия), профессор (Шведский университет сельскохозяйственных наук, Швеция)

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

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

Редакционная коллегия

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

(*зам. гл. редактора*)

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

(Нижний Новгород)

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

Л. В. Ветчинникова, д-р биол. наук, доцент (Петрозаводск)

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

(*отв. секретарь*)

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

1(25)
2015

january – march

OF 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 Russian Science Citation Index, Ulrich's Periodicals Directory and 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:

424000, Yoshkar-Ola, 3, Lenin Square

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

Fax (8362) 41-08-72

E-mail: vestnik@volgatech.net

Editor *T. A. Rybalka*

Cover design *L. G. Malankina*

Computer assisted make up

A. A. Kislitsyn

Translation

M. A. Shalagina

Passed for printing 26.03.15.

format 60×84 1/8. No. of press sheets 11,6.

Printing run 500 copies. Order No

Release date: 30.03.15.

Open price

Volga State University of Technology
424000, Yoshkar-Ola, 3, Pl. Lenina

Printed from the layout original
At LLC PPF«String»
424006, Yoshkar-Ola,
95, Stroiteley St.

Editor in Chief

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

Editorial Board:

E. A. Kurbanov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor
(Chairman)

D. I. Mukhortov, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor
(Vice-chairman)

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

Ioannis Z. Gitas, PhD in Geographical Information Systems (GIS) and Remote Sensing (Cambridge University – UK), Associate Professor (Saloniki, Greece)

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

Cecil C. Konijnendijk, Doctor in Science in forest policy and economics from the University of Joensuu (Finland), Professor (SLU, Sweden)

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

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

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

L. V. Vetchinnikova, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor
(Petrozavodsk)

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
(Executive Secretary)

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

СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

О. Н. Воробьев, Э. А. Курбанов, А. В. Губаев, Ю. А. Полевщикова, Е. Н. Демешева, В. О. Коптелов. Дистанционный мониторинг городских лесов

5

А. Стефанидоу, Е. Драгози, М. Томпюлидоу, Я. З. Гитас. Картирование лесных и не лесных площадей с использованием Landsat TM и алгоритма «искусственные нейронные сети» (ANNs)

22

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ
ЛЕСНОГО ДЕЛА

С. А. Узрюмов, А. А. Федотов, А. В. Осетров. Комплексные способы повышения физико-механических свойств древесно-стружечных плит

34

В. В. Васильев. Модернизированный плот для рек с малыми глубинами

45

М. Г. Салихов, В. Ю. Илванов, Л. И. Маланова. Предложение к изучению процессов старения органических бетонов при воздействии высоких температур

59

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ.
БИОТЕХНОЛОГИИ

Ю. П. Демаков, А. В. Исаев. Влияние аэриального поступления веществ на их круговорот в лесных экосистемах

66

Е. А. Гончаров, Д. И. Пигалин, Н. Г. Шурков. Эколого-геохимическая оценка почвенного покрова городских ландшафтов

87

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

III Международная конференция «Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса»

98

Информация для авторов

100

CONTENTS

FORESTRY

O. N. Vorobyev, E. A. Kurbanov, A. V. Gubayev, Y. A. Polevshikova, E. N. Demisheva, V. O. Koptelov. Remote monitoring of urban forests

A. Stefanidou, E. Dragozi, M. Tompoulidou, I. Z. Gitas. Forest/non forest mapping using Landsat thematic mapper imagery and artificial neural networks (ANNs)

FORESTRY TECHNOLOGIES
AND MACHINES

S. A. Ugryumov, A. A. Fedotov, A. V. Osetrov. Comprehensive methods for improvement of physical and mechanical properties of particle boards

V. V. Vasilyev. A modernized float for the shall depth rivers

M. G. Salikhov, V. Yu. Ilivanov, L. I. Malayanova. A way to study the process of ageing of organic concrete at high temperature

PROBLEMS IN ECOLOGY AND RATIONAL
NATURE MANAGMENT.
BIOTECHNOLOGIES

Yu. P. Demakov, A. V. Isaev. Influence of aerial income of elements on their circulation in forest ecosystems

E. A. Goncharov, D. I. Pigalin, N. G. Shurkov. Ecological and geochemical assessment of soil cover in the urban areas

DATES. EVENTS. COMMENTS

III International conference «Current problems and future development of forest-industry complex»

Information for the authors

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630*583

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ГОРОДСКИХ ЛЕСОВ

**О. Н. Воробьев, Э. А. Курбанов, А. В. Губаев, Ю. А. Полевщикова,
Е. Н. Демишева, В. О. Коптелов**

Поволжский государственный технологический университет,
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
E-mail: vorobievon@volgatech.net

Проанализирована приемлемость ландшафтных индексов для оценки пространственного распределения городских лесов муниципального образования «город Йошкар-Ола» за 1981, 2001 и 2014 гг. методами дистанционного зондирования. Для исследований использованы архивные снимки спутника Landsat, кадастровая карта и план города, спутниковые данные более высокого разрешения Canopus и Rapid Eye. Анализ вновь полученных разновременных тематических карт на территорию г. Йошкар-Олы показал неоднородность структуры её лесных участков. Заметно выделяются крупные лесные участки в юго-восточной и центральной части городского округа, которые сильно влияют на общий тренд динамики ландшафтных показателей. Полученные данные свидетельствуют о том, что за последние 25 лет на территории исследований наблюдается увеличение фрагментированности участков городских лесов и происходит существенное сокращение класса лиственных и смешанных насаждений с 1527,4 га до 1069,3 га. Также произошло увеличение количества лесных участков городских лесов с 1865 в 1989 году до 1998 в 2014 году. Точность полученных данных подтверждается современными критериями геоинформационной статистики. Предложенный метод тематического картирования и оценки городских лесов методами дистанционного зондирования по ландшафтным показателям позволит сократить стоимость работ в сравнении с наземными исследованиями и повысить их точность.

Ключевые слова: спутниковые снимки Landsat; ГИС; дистанционное зондирование Земли; городские и пригородные леса; дистанционный мониторинг лесов; тематическое картирование.

Введение. Городские леса являются неотъемлемым элементом ландшафта большинства городов мира. Они представляют собой своеобразные лесные экосистемы, которые по составу и структуре выполняют промежуточную функцию между естественными лесами и городскими парками. Общеизвестным фактом является то, что городские леса или «зе-

лёные зоны» выполняют охранные, рекреационные, культурно-оздоровительные и санитарно-гигиенические функции, являются местами отдыха населения [1, 2].

Согласно статье 102 Лесного кодекса Российской Федерации городские леса относятся к защитным лесам. В частности, к ним относятся леса, расположенные на землях городских поселений, предназна-

© Воробьев О. Н., Курбанов Э. А., Губаев А. В., Полевщикова Ю. А., Демишева Е. Н., Коптелов В. О., 2015.

Ссылка на статью: Воробьев О. Н., Курбанов Э. А., Губаев А. В., Полевщикова Ю. А., Демишева Е. Н., Коптелов В. О. Дистанционный мониторинг городских лесов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 1 (25). – С. 5-21.

ченные для отдыха населения, проведения культурно-оздоровительных и спортивных мероприятий, а также для сохранения благоприятной экологической обстановки. Согласно статье 133 Лесного кодекса РФ порядок ведения лесного хозяйства, а также использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов, расположенных на землях городских поселений, устанавливается органами государственной власти субъектов РФ в соответствии с Лесным кодексом РФ.

Между тем в связи с высокой температурой атмосферы и концентрацией выхлопных газов от транспорта, с уплотнением почв и ограниченным пространством роста в городских насаждениях деревья подвержены большому стрессу и нарушениям, чем произрастающие в обычных лесах [3]. Неблагоприятные условия роста также способствуют повышению восприимчивости городских лесов к вредителям и болезням, изменению климата и таким экстремальным явлениям, как кислотные дожди и загрязнение атмосферы [4]. Кроме того, на динамику развития городских лесов могут повлиять интродукция экзотических кустарников или деревьев, расширение городской застройки и транспортной инфраструктуры [5]. В связи с этим при проведении проектных работ по стратегическому планированию и хозяйственной деятельности, оценке и мониторингу за состоянием растительного покрова, а также сбору и систематизации информации о городских лесах уделяется особое внимание. Этому процессу способствует переход современных научно-прикладных исследований и принятие решений по устойчивому ведению лесного хозяйства на новый технологический уровень с использованием геоинформационных систем и данных дистанционного зондирования Земли [6–8]. Преимуществом новых технологий также является тот факт, что данные дистанционного зондирования обеспечивают временные и пространственные тренды в ис-

следованиях растительного покрова, которые необходимы при моделировании и планировании при застройке территории города [9].

Геоинформационные технологии и дистанционное зондирование Земли широко используют при оценке и мониторинге городских лесов во многих странах мира. В США по разновременным спутниковым снимкам Landsat на основе семи тематических классов методом общей классификации и пост-классификационного выявления изменений была получена карта динамики городских лесов нескольких городов штата Миннесота [10]. Оценку жизнеспособности городских лесов в стрессовых ситуациях проводят по изменениям спектральных значений (сигнатур) по индексу листовой поверхности растительности LAI (leaf area index). Ослабленные насаждения имеют более низкие значения сигнатур в ближней инфракрасной зоне спектра и повышенные в видимой зоне длин волн [11, 12].

В последние годы широкое применение при оценке городских лесов зон по спутниковым данным получило использование феномена «городского острова тепла» (Urban Heat Island), представляющего собой эффект более высоких температур атмосферы и поверхности земли в городах по сравнению с другими окружающими территориями. Этот феномен обусловлен большим количеством непроницаемых материалов, присущих городским зданиям, строениям и инфраструктуре, что позволяет фиксировать этот поток энергии при помощи сенсоров дистанционного зондирования [13]. Использование разновременных спутниковых снимков Landsat ETM+ и данных по температуре атмосферы города Джинан (Китай) с 1987 по 2011 гг., когда проходила его бурная урбанизация и миграция населения из сельской местности, позволило выявить существенную смену в землепользовании на городской территории и динамику интенсивности эффекта «острова тепла» для

различных районов города по месяцам и сезонам года [14].

Целью работы является апробирование методики анализа динамики пространственной структуры городских лесов по спутниковым снимкам, для чего решались следующие **задачи**:

- подбор и предварительная обработка спутниковых снимков среднего и высокого разрешений на город Йошкар-Ола за период с 1989 по 2014 гг;
- разработка тематических карт методом пошаговой неуправляемой классификации Isodata и выделение шести доминирующих классов наземного покрова на территорию исследования «городской округ г. Йошкар-Ола»;
- оценка степени фрагментации лесных участков на территории округа на основе ландшафтных показателей и выявление основных трендов в пространственной динамике городских лесов.

Объектом исследований явились леса «зелёной зоны», расположенные на территории города Йошкар-Олы Республики Марий Эл. Город расположен на территории Марийской низменности, находящейся в восточной части Восточно-Европейской равнины, в 50 км к северу от

реки Волги, на её левом притоке – реке Малая Кокшага. Городские леса расположены на территории муниципального образования «Город Йошкар-Ола» (рис. 1).

Зелёные насаждения являются частью городской инфраструктуры и экологическим каркасом этой территории, входят в единую систему взаимосвязанных элементов ландшафта города и прилегающего Медведевского района. К этому природному комплексу, имеющему статус особо охраняемой природной территории, также относятся на севере – лесопарк «Дубовая роща», а на юге лесопарк «Сосновая роща». Муниципальные городские леса г. Йошкар-Олы представляют собой высокопродуктивные насаждения смешанного породного состава и возраста, типологической структуры и отвечают требованиям организации многофункционального рекреационного лесопользования. Наиболее высокой рекреационной нагрузке подвержены участки зелёных зон, расположенные в непосредственной близости от городской застройки и транспортных коридоров. Для исследования был выбран участок городских лесов, включающий территорию общей площадью 10145 га [15].

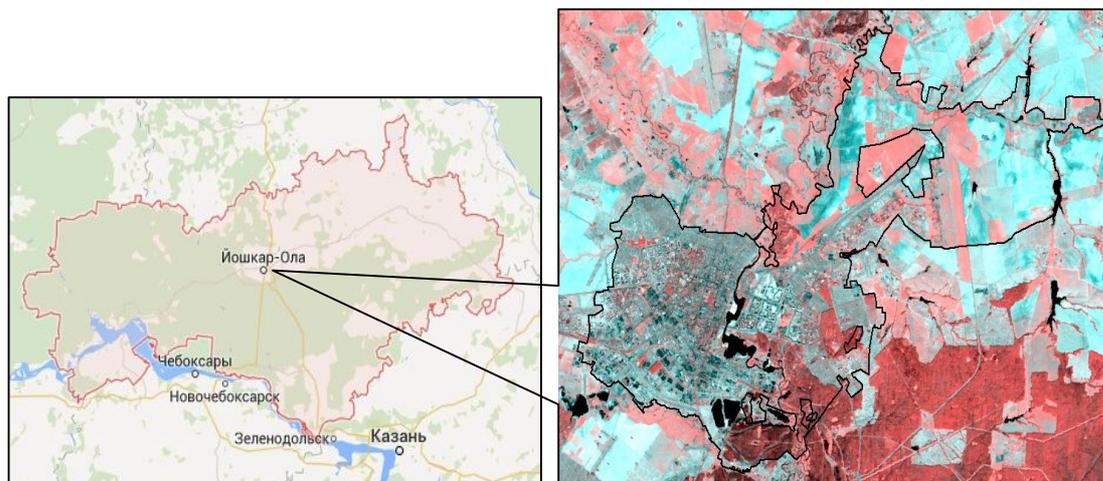


Рис. 1. Местоположение г. Йошкар-Олы на карте и на спутниковом снимке в псевдоцветах (Landsat 2001 г.)

Техника эксперимента и методика исследований. Предварительная подготовка изображений. Для оценки изменений растительного покрова (зелёных зон) в пределах границ городского округа были использованы безоблачные спутниковые снимки Landsat за три разновременных периода, полностью покрывающие территорию исследования. Всем спутниковым снимкам была присвоена геометрическая привязка UTM, zone 38 (табл. 1).

Работа со снимками проводилась в программных пакетах ENVI-5.2 и ArcGIS-10.3. Предварительная подготовка изображений включала: радиометрическую калибровку, геометрическую и атмосферную коррекцию изображений. До выполнения тематической классификации было проведено преобразование снимков с использованием метода «Tasseled Cap» («колпачок с кисточкой») [16]. Эта методика обычно применяется с целью анализа и выявления изменений наземного покрова на разновременных спутниковых изображениях, что позволяет повысить качество дешифрирования характеристик физических свойств растительности. Алгоритм «Tasseled Cap» представляет собой эмпирическое линейное преобразование шести каналов мультиспектрального изображения в три отдельных трансформированных изображения (яркость, зелёность и влажность), обычно используемых при изучении растительного покрова [17].

В основу формирования классов легенды для тематических карт была положена методика международного проекта NELDA (Northern Eurasia land dynamics analyses) и FAO (Food and Agricultural Organization), LCCS (Land Cover Classification

System) (<http://www.glcn-lccs.org>). Предложенная методика классификации наземного покрова позволяет сравнивать классы, независимо от масштаба, типа покрова, метода сбора данных и географического местоположения [18]. Использование этой методики позволяет унифицировать и приблизить стандарты классификаций, применяемые различными странами мира, и обеспечить их сопоставимость и сравнимость. Классификация наземного покрова по системе FAO LCCS предполагает формирование системы иерархичности классов легенды согласно господству жизненных форм. Преобладающие жизненные формы – это жизненные формы верхнего яруса, представленные как деревьями, так и кустарниками и травянистыми растениями. Иерархичность построения легенды классов заключается в том, что на высшей ступени находится класс «деревья» и далее по мере уменьшения значимости (от высоких к низким формам растительности) в структуре наземного покрова [19]. Другим важным классификатором является «покров» (cover), который может варьировать от сомкнутого до открытого (LCCS). При этом покров более 65 % относится к категории «сомкнутый», а покров в пределах 65 – 15 % к категории «открытый». Следует отметить, что, согласно вышеупомянутой легенде, участки с древесным покровом, не превышающим 15 %, будут отнесены к категории «лишённый растительности» и «покрытые редкой растительностью», если только преобладающая растительность не представлена травами или кустарником. Таким образом, формируются классы легенды всех возможных типов наземного покрова местности.

Таблица 1

Характеристика спутниковых данных

Спутник	Пространственное разрешение, м	Спектральный диапазон, мкм	Режим съёмки	Время съёмки (весенне-летний период)
Landsat 7	30	0,54–0,86	Мультиспектральный	1989 г.
Landsat 7	30	0,58–0,80	Мультиспектральный	2001 г.
Landsat 8	30	0,58–0,80	Мультиспектральный	2014 г.

В работе была сформирована векторная «маска» контура полигона объекта исследования, расположенная в пределах границ города Йошкар-Олы. При проведении экспертного анализа и оценки результатов классификации спутниковых снимков также использовались следующие материалы: топографические карты, планы лесонасаждений, кадастровые планы, снимки высокого разрешения и данные полевых исследований коллектива «Центра устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов» ФГОУ ВПО «ПГТУ» за 2012–2014 гг. [20]. На основе вновь полученной «маски» векторного полигона по спутниковым снимкам Landsat были сформированы фрагменты изображений на территорию исследования за 1989, 2001 и 2014 гг. Тематическое картирование этих спутниковых изображений было проведено с использованием алгоритма неуправляемой классификации ISODATA в программном пакете ENVI-5.2. Для устранения смешивания классов наземного покрова, полученных при классификации и имеющих близкие спектральные характеристики, использовались методы пошаговой классификации с элементами выделения спектральных пороговых значений. Полученный в результате классификации набор исходных растровых тематических классов методом экспертного анализа был сгруп-

пирован в шесть доминирующих классов наземного покрова (табл. 2).

Пошаговая оценка точности классификации проводилась на основе коэффициентов матрицы различий (Confusion Matrix) и Каппа (Kappa Index). Для оценки точности тематического картирования городских лесов были использованы данные тестовых участков, заложенные во время полевых исследований территории, а также снимки высокого разрешения Каноус-В, Ресурс-П и RapidEye. Кроме того, применялись данные интернет-ресурсов «Яндекс карта» и «SAS Planet». Во время пост-классификационной обработки растровых данных была проведена генерализация полученных тематических слоёв за все временные периоды с использованием инструментов программного пакета ENVI-5.2 с заданным минимальным размером «окна фильтра» 3x3 пиксела.

Полученные для каждого временного периода шесть доминирующих растровых классов были преобразованы в полигональные векторные слои. Вся последующая работа по пространственному анализу и оценке изменений наземного покрова проводилась в среде ArcGis 10.3 с использованием полученных растровых и векторных слоёв на территорию исследования (рис. 2).

Таблица 2

Тематические классы наземного покрова городского округа

Классы наземного покрова	Описание	Код легенды
Хвойные насаждения	Вечнозелёная растительность	TNEC (tree needle leaved evergreen closed)
Лиственные и смешанные насаждения	Лиственные и смешанные насаждения, садовые участки, небольшие роци и лесопитомники	TBDC (tree broadleaved deciduous closed)
Сельскохозяйственные земли	Зерновые культуры, пастбища	HC (herbaceous closed)
Сооружения	Жилые и промышленные районы, транспортная сеть, городские коммуникации, смешанные городские и не покрытые растительностью земли, включающие различные типы сооружений	OB (open build)
Лишённые растительности	Каменные россыпи, песчаник, карьеры	BL (bare land)
Водные объекты	Постоянные открытые водоёмы, озёра, водохранилища, реки, бассейны	W (water)

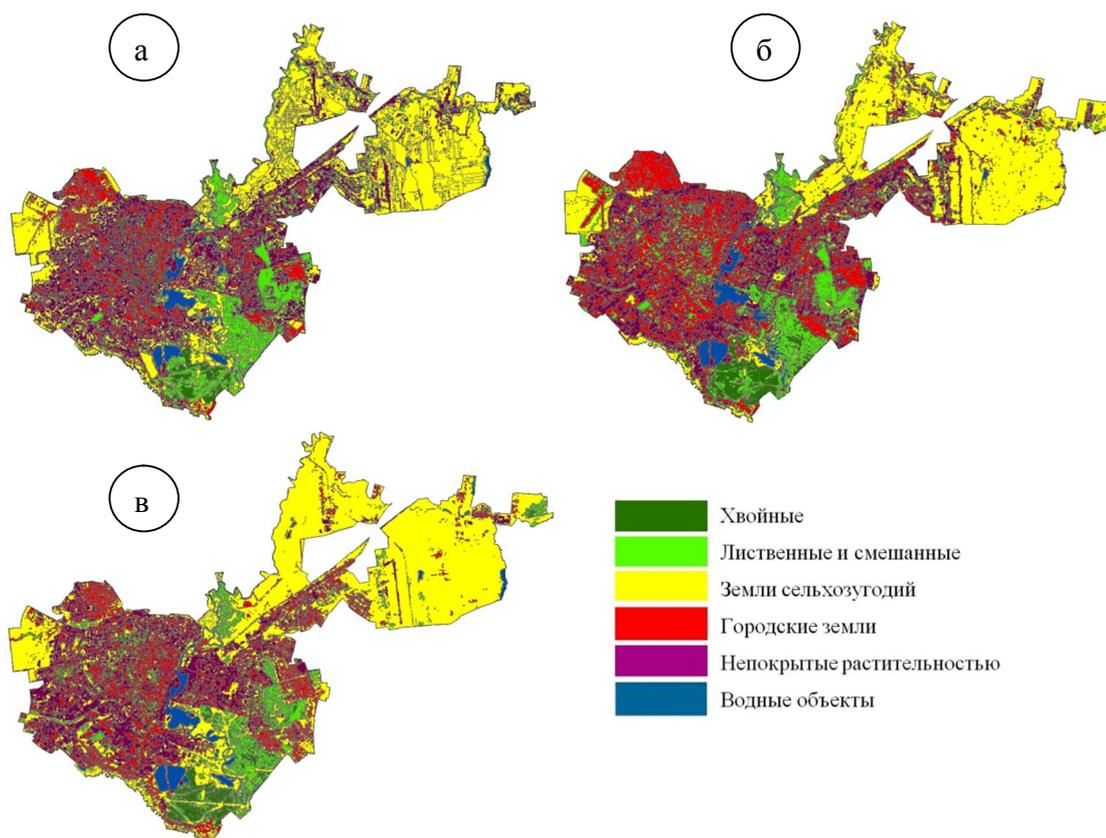


Рис. 2. Тематические карты наземного покрова г. Йошкар-Олы: а) 1989, б) 2001, в) 2014 гг.

Ландшафтные показатели. Статистический анализ пространственных изменений определялся при помощи основных ландшафтных показателей (индексов), описывающих характерные изменения в структуре участков зелёных зон (лесных участков) городского округа за изучаемый период времени: их размер и количество, периметр, сложность формы, а также степень делимости и пространственного распределения [21]. Определение этих и других индикаторов (табл. 3) было выполнено в модуле «Patch Analyst» геоинформационного пакета ArcGIS. Для оценки изменений зелёной зоны городского округа был использован полигональный тематический слой «лес», полученный в результате объединения двух доминирующих классов наземного покрова – «лиственные и смешанные насаждения» и «хвойные насаждения». Крупные лесные массивы (в основном ООПТ) оценивались по форме, площади распределения и по составу насаждений.

Индикаторы «средний размер участка» и «количество участков», представляя собой взаимосвязанные показатели, характеризуют динамику пространственного распределения фрагментов растительного покрова. По ним можно судить о степени раздробленности растительного покрова на мелкие или более крупные участки, а также о потере или приросте лесных участков на исследуемой территории.

Плотность границ (Edge density, ED) количественно характеризует границы растительного покрова или ландшафта, а также влияет на показатели микроклимата исследуемого участка и доступность к его ресурсам [22]. Этот показатель определяется как отношение длины границ опушки лесных участков к их площади. Увеличение значений этого показателя свидетельствует об антропогенном влиянии (рубка деревьев, транспортные коммуникации, строительство, линии электропередач и т.п.) на целостность растительного покрова.

Таблица 3

Индексы оценки фрагментации растительного покрова

Индексы	Обозначение	Расчётная формула	Единица измерения
Средний размер лесных участков	MPS	$MPS = a / NP$ а – площадь лесных участков	га
Количество лесных участков	NP	Общее количество всех лесных участков	шт.
Плотность границ лесных участков	ED	p/TLA TLA – площадь территории исследования, га р – периметр лесных участков	м/га
Индекс формы лесного участка	MSI	$MSI = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\frac{0.25 p_{ij}}{\sqrt{a}} \right]}{NP}$ а – площадь лесных участков р – периметр лесных участков	Усл. ед.
Фрактальный индекс лесных участков	FRAC	$FRAC = \frac{2 \ln(0.25 p_i)}{a_i}$	Усл. ед.
Среднее расстояние между лесными участками	MNN	$MNN = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n}$ h – расстояние между центром лесного участка i и центром ближайшего соседнего участка n(NP) – общее количество лесных участков	(м)
Процент лесистости	PF	$PF = (a/TLA) * 100$	%

Средний индекс формы лесного участка (mean shape index, MSI), который определяется как отношение суммы периметра всех участков к площади всего растительного покрова исследуемой территории, также используется при описании степени фрагментации ландшафта. Он показывает отклонение формы оцениваемого объекта ландшафта от формы окружности [23]. Значение индекса формы варьирует от 0 (неправильная) до 1 (идеальная окружность).

Фрактальная величина (Fractal dimension) обычно используется для описания сложности и фрагментированности изучаемого участка ландшафта через соотношение периметр-площадь. Значения этого показателя лежат в пределах от 1 до 2. Значения стремятся к единице, когда участок имеет компактную прямоугольную форму с относительно небольшим пери-

метром по отношению к общей площади. Если участки имеют более высокую фрагментированность и состоят из сложных форм, то значение фрактальной величины увеличивается в связи с повышением значений периметра участков [24]. Индикатор «среднее расстояние до ближайшего соседа» (MNN, mean nearest neighbor), широко используемый в современной пространственной статистике, показывает степень изолированности участков ландшафта друг от друга.

В качестве основного объекта по оценке фрагментации растительного покрова исследуемой территории были приняты участки с минимальной площадью 0,27 га. Такие участки, расположенные на территории городского округа, на спутниковом снимке представляют собой группу пикселей класса «лес» (рис. 3).

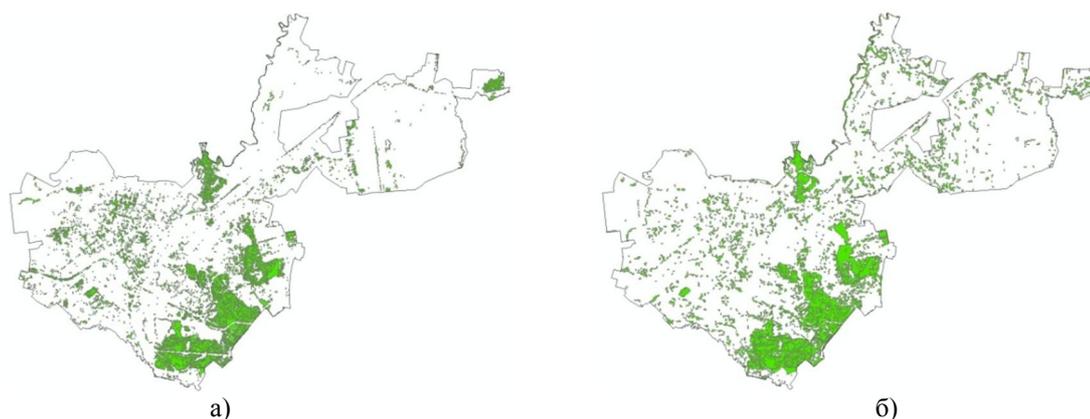


Рис. 3. Распределение лесных участков по территории г. Йошкар-Олы: а) 1989 г., б) 2014 г.

Результаты исследований. Общая точность классификации и Каппа-анализ для карт 1989, 2001 и 2014 гг. составил 88,2 % (74,8 %), 83,9 % (79,2 %) и 88,4 % (81,8 %) соответственно. Неуправляемая классификация на основе разновременных снимков Landsat 1989, 2001 и 2014 гг. и шести основных классов наземного покрова позволила выявить динамику растительного покрова города Йошкар-Олы. Анализ вновь полученных тематических карт показывает, что с 1989 года по настоящее время наблюдается устойчивое снижение площади зелёной зоны на территории исследований. Большая часть городских лесов была фактически переведена в класс «сооружения» и «лишённые растительности» земли. Детальный анализ тематических карт лесов зелёной зоны пригорода и города выявил незначительные изменения в площади хвойных лесов (TNEC)

(рис. 4). В то же время наблюдается существенное сокращение лиственных и смешанных насаждений (TBDC) с 1527,4 до 1069,3 га. На месте этих участков городской зоны были построены различные объекты и сооружения. Об этом также свидетельствует увеличение площади тематического класса «сооружения» (OB) с 2143,4 до 2395,7 га. В то же время площадь класса «лишённые растительности» (BL) снизилась с 2545,3 до 2336,5 га. Следует отметить, что два последних класса близки по своим спектральным характеристикам, что приводит к сложности их дешифрирования и выделения на спутниковом снимке. Значительно увеличилась площадь класса «сельскохозяйственные земли» (HC) за счёт перехода в него отдельных участков «лишённые растительности». Практически неизменными на территории исследования остались площади водных объектов.

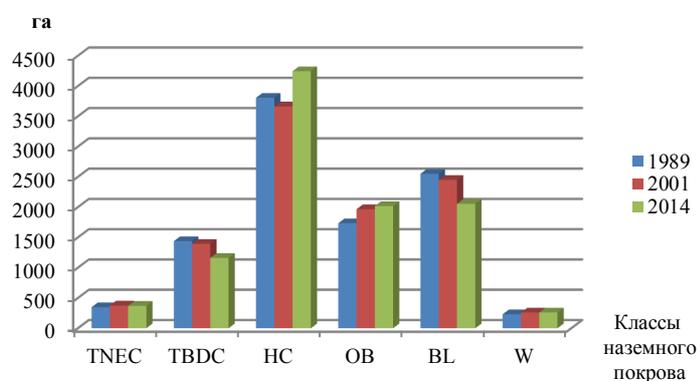


Рис. 4. Динамика площадей классов наземного покрова, расположенных на территории города Йошкар-Олы за период с 1989 по 2014 гг. (обозначения в тексте)

По районам городского округа также наблюдается различная картина динамики площадей наземного покрова, которая характерна для небольших городов Российской Федерации. В целом наблюдается относительно неизменная площадь участков «зелёных зон» в центральной части города (парки, небольшие скверы и аллеи). Развернувшееся за последнее десятилетие интенсивное строительство вдоль набережной зоны р. Малая Кокшага и вокруг неё не повлияло на общую картину ландшафта центральной части, ввиду отсутствия полноценных древесных насаждений вдоль береговой полосы и прилегающей территории, которые необходимо было вырубить в связи со строительными работами. Между тем, совершенно другая картина наблюдается в периферийной части городского округа. Выявлены потери в городских лесах в южном промышленном, заречном и сельском

районах (рис. 5). Отчасти это может быть связано с интенсивным строительством жилья, включая индивидуальную коттеджную застройку, которая проводится на этой территории последние 20 лет. Особенно эта тенденция заметна на примере сельского района, в котором произошло снижение растительного покрова более чем наполовину (рис. 5, 6). Между тем в заводском районе наблюдается незначительное увеличение площади растительного покрова (зелёных зон), что может быть связано с сукцессионными процессами на заброшенных землях сельхозугодий (залежи) [25]. Естественные процессы зарастания земель запаса и перераспределения лесной растительностью продолжаются в Республике Марий Эл уже второе десятилетие. На этих землях происходит формирование высокополнотных и продуктивных берёзовых и сосновых насаждений.

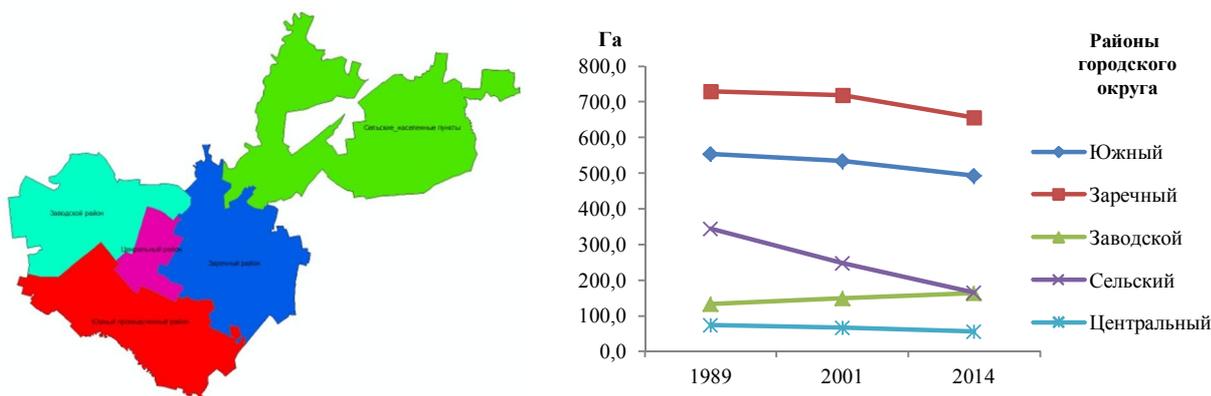


Рис. 5. Динамика площадей растительного покрова по различным районам г. Йошкар-Олы

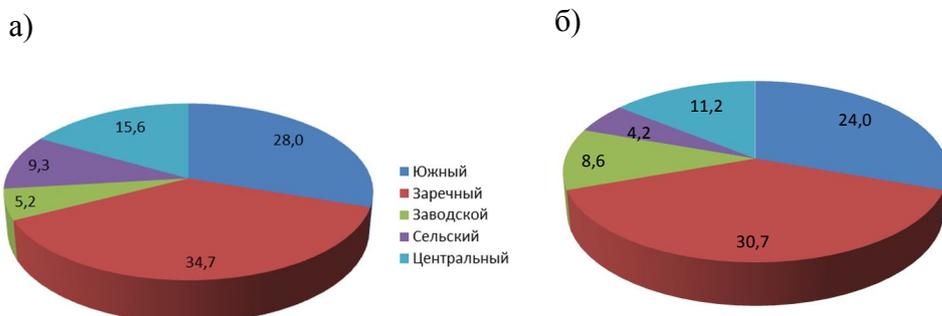


Рис. 6. Площади растительного покрова (процент лесистости) по районам г. Йошкар-Олы: а) 1989 г., б) 2014 г.

Анализ вновь полученных тематических карт на территорию г. Йошкар-Олы показал неоднородность структуры её лесных участков. Заметно выделяются крупные лесные участки в юго-восточной и центральной части городского округа, которые сильно влияют на общий тренд динамики ландшафтных показателей. Относительно неизменными остаются территории лесопарковых зон, включающие в себя насаждения южной и северной частей городской зоны (парки, скверы и аллеи).

По результатам исследований были выявлены следующие тенденции в изменении растительного покрова территории городского округа за 1989 – 2014 гг.:

- средний размер лесного участка (MPS) за эти годы существенно снизился с 0,9 до 0,58 га (рис. 7, а);

- произошло увеличение количества лесных участков с 1865 до 1998 (рис. 7, б). В то же время число лесных участков площадью более 2 га существенно снизилось в 2014 году по сравнению с 1989 годом;

- показатель плотности границ всех лесных участков повысился с 0,06 до 0,07 м/га (рис. 7, в), что свидетельствует об увеличении антропогенной нагрузки на городские леса;

- индекс формы лесного участка (MSI) за исследуемый период времени изменился почти в два раза. Его значение варьировало от 0,22 в 1998 году до 0,12 в 2014 году (рис. 7, г);

- индекс фрактальной величины увеличился с 1,51 до 1,81 единицы (рис. 7, д);

- показатель степени изолированности лесных участков (MNN) (рис. 7, е) также имеет тенденцию к росту;

- лесистость также имеет явную тенденцию к снижению с 17,5 % в 1989 году до 14,7 % в 2014 году.

Полученные ландшафтные индикаторы для городских лесов Йошкар-Олы говорят о том, что пространственное рас-

пределение участков растительного покрова приобретает всё более фрагментированный характер. Динамика в сторону повышения индикаторов MNN (среднего расстояния), плотности границ, индекса формы и количества участков с 1989 по 2014 гг. также свидетельствует об этом процессе. В целом наблюдается явное сокращение площади городских лесов и увеличение степени изолированности отдельных участков растительного покрова, что в будущем увеличит риски их нарушений при постоянно возрастающей антропогенной нагрузке. Поэтому для повышения устойчивости городских лесов требуются хозяйственные мероприятия по стабилизации фрагментированности участков, либо даже снижению этого показателя ландшафта.

Ещё одним важным индикатором при мониторинге, характеризующем степень доминирования городских сооружений над зелёной зоной, является показатель соотношения площади класса «сооружения» к площади «растительность». К первой категории относятся жилые постройки, промышленные участки, транспортные коммуникации, открытые участки (карьеры, объекты ТБО и пр.). Класс «растительность» включает в себя все участки зелёной зоны города (растительный покров). Этот показатель также наглядно демонстрирует устойчивую тенденцию за исследуемый период времени к росту доминирования искусственных объектов над растительностью в пределах исследуемой территории (рис 8, 9). Этот показатель подтверждает тот факт, что увеличение степени фрагментации зелёных зон в основном произошло за счёт увеличения класса «сооружения». Следует отметить, что схожие тенденции по соотношению площади застройки и растительного покрова характерны также для большинства городов Европейского союза [26].

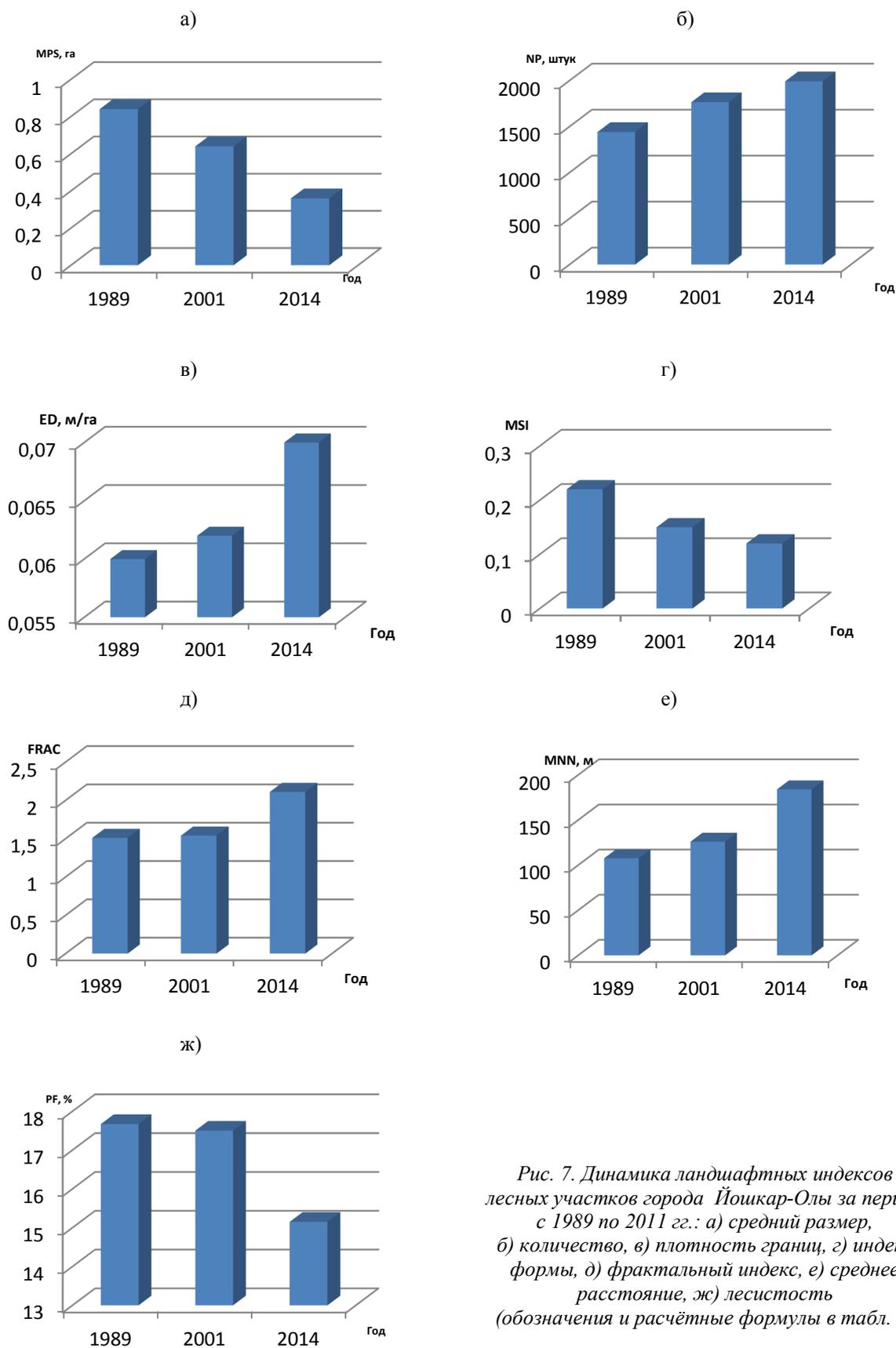


Рис. 7. Динамика ландшафтных индексов лесных участков города Йошкар-Олы за период с 1989 по 2011 гг.: а) средний размер, б) количество, в) плотность границ, г) индекс формы, д) фрактальный индекс, е) среднее расстояние, ж) лесистость (обозначения и расчётные формулы в табл. 3)

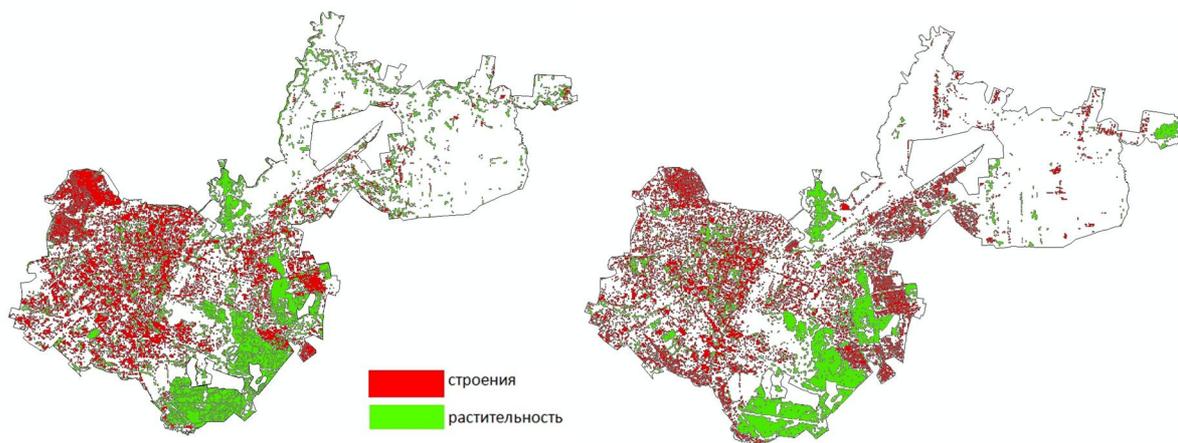


Рис. 8. Динамика изменений класса «сооружения» и класса «растительность» за 1989–2014 гг.

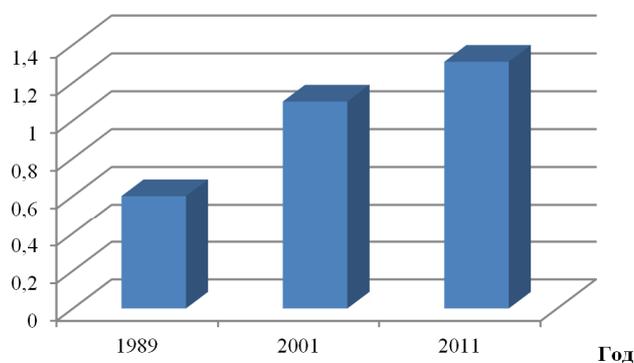


Рис. 9. Индекс соотношения класса «сооружения» и класса «растительность» за 1989–2014 гг.

На отдельных участках городского ландшафта наблюдается ухудшение санитарного состояния растительного покрова. Тем не менее, в целом растительность адаптирована к городским условиям и представляет собой относительно устойчивую лесную экосистему. К сожалению, процесс урбанизации влечёт за собой негативные последствия на городские леса в целом. Повышение рекреационной нагрузки на основные лесные массивы и «островки зелёных зон» приводит к потере целостности городских лесов, что и подтверждается нашими исследованиями.

Выводы

1. В работе показана возможность использования разновременной спутниковой информации для мониторинга растительного покрова г. Йошкар-Олы, что может повысить эффективность при приня-

тии решений в городском планировании. При этом важным моментом предложенного метода мониторинга является комплексное использование спутниковых снимков среднего (Landsat) и высокого разрешений (Канопус, Rapid Eye).

2. В основе методики исследований лежит неуправляемая классификация разновременных спутниковых снимков, которая обеспечивает высокую степень точности тематического картирования до 88 %. Для оценки изменений городских лесов выделены шесть основных классов наземного покрова.

3. Применение ландшафтных индексов и данных дистанционного зондирования показывает хорошие результаты при оценке растительного покрова городских лесов. За последние 25 лет в городских лесах пространственное распределение

участков растительного покрова приобретает всё более фрагментированный характер. Динамика в сторону повышения индикаторов MNN (среднего расстояния), плотности границ, индекса формы и количества участков с 1989 по 2014 гг. также свидетельствует об этом процессе.

Работа выполнена по проекту «Дистанционный мониторинг устойчивости лесных экосистем» в рамках государственного задания в сфере научной деятельности Министерства образования и науки Российской Федерации 2014 г.

Список литературы

1. Мозолевская, Е.Г. Оценка состояния и устойчивости лесов зеленой зоны города Тольятти / Е.Г. Мозолевская, Е.П. Кузьмичев, Н.М. Шленская и др. – М.: ИЭВБ РАН. – 1995. – 92 с.
2. Konijnendijk, C.C. Urban Forests and Trees / C.C. Konijnendijk, K. Nilsson, T.B. Randrup, J. Schipperijn. – Berlin: Springer, 2005. – 520 p.
3. Flint, H.L. Plants showing tolerance of urban stress / H.L. Flint // Journal of Environmental Horticulture. – 1985. – № 3. – Pp. 85–89.
4. Metzger, J.M. The effect of crown dimensions on transparency and the assessment of tree health / J.M. Metzger, R. Oren // Ecological Applications. – 2001. – № 11. – Pp. 1634–1640.
5. Dwyer, J.F. Sustaining urban forests / J.F. Dwyer, D.J. Nowak, M.H. Nobel // Journal of Arboriculture. – 2003. – № 29. – Pp. 49–55.
6. Курбанов, Э.А. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, и др. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 1(21). – С. 18–32.
7. Kathleen, T.W. Geospatial methods provide timely and comprehensive urban forest information / T. W. Kathleen, G.R. Johnson // Urban Forestry and Urban Greening. – 2007. – № 6. – Pp. 15–22.
8. Нурғалиев, И.С. Космические образовательные технологии: инвестиции в будущее / И.С. Нурғалиев, Д.С. Стребков, И.И. Тюхов, А.М. Шахраманьян // Труды международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». – 2010. – Т. 1. – С. 406–412.
9. Воробьев, О.Н. Мониторинг состояния растительного покрова на территории Республики Марий Эл с использованием ENVISAT MERIS / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – № 7(99). – С. 42–45.
10. Yuan, F. Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing / F. Yuan, K.E. Sawaya, B.C. Loeffelholz, M.E. Bauer // Remote Sensing of Environment. – 2005. – № 98. – Pp. 317–328.
11. Jensen, R.R. Estimating urban leaf area using field measurements and satellite remote sensing data / R.R. Jensen, J.H. Perry // Journal of Arboriculture. – 2005. – № 31(1). – Pp. 21–27.
12. Воробьев, О.Н. Дистанционный мониторинг лесных гарей в Марийском Заволжье / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, А.В. Губаев и др. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2012. № 1 (15). — С. 12–22.
13. Voogt, J.A. Thermal Remote Sensing of Urban Climates / J.A. Voogt, T.R. Oke // Remote Sensing of Environment. – 2003. – № 86. – Pp. 370–384.
14. Meng, F. Remote-sensing image-based analysis of the patterns of urban heat islands in rapidly urbanizing Jinan, China / F. Meng, M. Liu // International Journal of Remote Sensing. – 2013. – № 34(24). – Pp. 8838–8853.
15. Публичная кадастровая карта [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://maps.rosreestr.ru/PortalOnline> (дата обращения 08.03.2015).
16. Курбанов, Э.А. Тематическое картирование и стратификация лесов Марийского Заволжья по спутниковым снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, С.А. Незамаев и др. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2013. – № 3 (19). – С. 72–82.
17. Healey, S.P. Comparison of Tasseled Cap-Based Landsat Data Structures for Use in Forest Disturbance Detection / S.P. Healey, W.B. Cohen, Y. Zhiqiang, O. Krankina // Remote Sensing of Environment. – 2005. – № 97. – Pp. 301–310.
18. Система классификации земного покрова (LCCS): Понятия классификации и руководство пользователя / Организация ООН по вопросам продовольствия и сельского хозяйства. – Рим, 2005. – 108 с.
19. 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> (режим доступа 18.03.2015).

20. Воробьев, О.Н. Методика выявления степени повреждения древостоев после пожаров 2010 года в Среднем Поволжье / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, С.А. Лежнин, и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2014. – № 4 (11). – С. 217-229.

21. Krummel, J.R. Landscape Patterns in a Disturbed Environment / J.R. Krummel, R.H. Gardner, G. Sugihara et al // Oikos. – 1987. – Vol. 4, № 3. – Pp. 321-324.

22. Brown, D.G. Estimating Error in an Analysis of Forest Fragmentation Change Using North American Landscape Characterization (NALC) Data /

D.G. Brown, J.D. Duh, S.A. Drzyzga // Remote sensing of environment. – 2000. – № 7. – Pp. 106-107.

23. Ohman, K. Reducing forest fragmentation in long-term forest planning by using the shape index / K. Ohman, T. Lamas // Forest Ecology and Management. – 2005. – № 212. – Pp. 346-357.

24. Herold, M. The use of remote sensing and landscape metrics to describe structures and changes in urban land uses / M. Herold, J. Scepán, K.C. Clarke // Environment and Planning. – 2002. – № 34. – Pp. 1443-1458.

25. 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 Марийского государственного технического университета Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2010. – № 2 (9). – С. 14-20

26. Kasanko, M. Are European cities becoming dispersed? A comparative analysis of 15 European urban areas / M. Kasanko, J.I. Barredo, C. Lavalle, et al. // Landscape and Urban Planning. – 2006. – № 77. – Pp. 111-130.

Статья поступила в редакцию 09.02.15.

Информация об авторах

ВОРОБЬЕВ Олег Николаевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства и лесоустройства, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – дистанционное зондирование лесов и ГИС, депонирование углерода лесными экосистемами, мониторинг лесных экосистем. Автор 50 научных и учебно-методических работ. E-mail: vorobievon@volgatech.net

КУРБАНОВ Эльдар Аликрамович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства и лесоустройства, руководитель международного Центра устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – устойчивое управление лесами, дистанционное зондирование земли и ГИС, биологическая продуктивность лесных экосистем, депонирование углерода лесными экосистемами, леса Киото. Автор 130 научных и учебно-методических работ. E-mail: kurbanovea@volgatech.net

ГУБАЕВ Александр Владимирович – аспирант кафедры лесоводства и лесоустройства, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – дистанционное зондирование земли и ГИС, биологическая продуктивность лесных экосистем. Автор 20 публикаций. E-mail: galex@volgatech.net

ПОЛЕВЩИКОВА Юлия Александровна – аспирант кафедры лесоводства и лесоустройства, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – дистанционное зондирование земли и ГИС, биологическая продуктивность лесных экосистем. Автор 20 публикаций. E-mail: polevshikovaya@volgatech.net

ДЕМИШЕВА Екатерина Николаевна – аспирант кафедры лесоводства и лесоустройства, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – дистанционное зондирование лесов и ГИС, оценка загрязненных территорий. Автор пяти публикаций. E-mail: kls@volgatech.net

КОПТЕЛОВ Василий Олегович – магистрант кафедры лесоводства и лесоустройства, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – дистанционное зондирование лесов и ГИС, экология. E-mail: koptelovvo@volgatech.net

UDK 630*583

REMOTE MONITORING OF URBAN FORESTS

**O. N. Vorobyev, E. A. Kurbanov, A. V. Gubayev, Y. A. Polevshikova,
E. N. Demisheva, V. O. Koptelov**

Volga State University of Technology,
3, Lenin Sq., Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation
E-mail: vorobievon@volgatech.net

Key words: Landsat satellite images; GIS; remote sensing; urban forests; remote monitoring of forests; thematic mapping.

ABSTRACT

The *aim* of the research was to carry out the comparative analyses of changes in spatial structure of Yoshkar-Ola city's urban forests between 1989 and 2014. To fulfill this aim several tasks were accomplished: finding out and processing of satellite images of middle and high resolutions on the territory of the city Yoshkar-Ola; elaboration of thematic maps with the use of ISODATA unsupervised classification and allocation of 6 main dominant classes of land cover on the investigated territory; estimation the degree of fragmentation on the territory of Yoshkar-Ola on the base of landscape metrics and detection of main spatial dynamics of urban forests. The paper also explores eligibility of a landscape metrics for the estimation of spatial distribution of Yoshkar-Ola urban forests for the 1981, 2001 and 2014 with the use of remote sensing. In the research we used archival Landsat images, map and plan of the city, satellite data Canopus and Rapid Eye of higher spatial resolution. The analyses of newly obtained multi temporal thematic maps on the territory of the city district of Yoshkar-Ola show the structure heterogeneity of the forest patches. There is sufficient allocation of large forest areas in the south-eastern and central part of the urban district, which strongly affect the general trend of the dynamics of landscape metrics. The findings suggest that over the past 25 years on the investigated territory there is an increase in fragmentation of single patches of urban forests, and a significant reduction in the class of deciduous and mixed forest stands from 1527.4 ha to 1069.3 ha. Also there was an increase in number of forest patches from 1865 in 1989 to 1998 in 2014, while the mean size of the patches was decreased from 0.9 to 0.58 ha. The thematic mapping of the Landsat images showed that the accuracy assessment of the forest cover classification with such processes varies between 83 % and 88 %. The proposed method of thematic mapping and evaluation of urban forests with the use of remote sensing has good potential to frequent update of the required data while reducing costs compared to field sampling. The research also shows the significance of the use of spatial measurements and landscape metrics that can contribute to more detail thematic mapping of the urban forests.

The research was carried out under the project «Remote Monitoring of Forest Ecosystems Sustainability» as the State Task in Science Activity of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation in 2014.

REFERENCES

1. Mozolevskaya E.G., Kuzmichev E.P., Shlenskaya N.M., et al. *Otsenka sostoyaniya i ustoychivosti lesov zelenoy zony goroda Tolyatti* [Assessment of State and Sustainability of Tolyatti Forests]. Moscow: IEBV RAN. 1995. 92 p.
2. Konijnendijk C.C., Nilsson K., Randrup T.B., Schipperijn J. *Urban Forests and Trees*. Berlin: Springer, 2005. 520 p.
3. Flint H.L. Plants showing tolerance of urban stress. *Journal of Environmental Horticulture*. 1985. № 3. Pp. 85–89.
4. Metzger J.M., Oren R. The effect of crown dimensions on transparency and the assessment of tree health. *Ecological Applications*. 2001. № 11. Pp. 1634–1640.
5. Dwyer J.F., Nowak D.J., Nobel M.H. Sustaining urban forests. *Journal of Arboriculture*. 2003. № 29. Pp. 49–55.
6. Kurbanov E.A., Vorobev O.N., Gubaev A.V., et al. Chetyre desyatiletiiya issledovaniy lesov po snimkam Landsat [Four Decades for Forests Study by Landsat Images]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2014. № 1(21). Pp. 18-32.

7. Kathleen T.W., Johnson G.R. Geospatial methods provide timely and comprehensive urban forest information. *Urban Forestry and Urban Greening*. 2007. № 6. Pp. 15–22.
8. Nurgaliev I.S., Strebkov D.S., Tukhov I.I., Shakhramanyan A.M. Kosmicheskie obrazovatelnye tekhnologii: investitsii v budushchee [Space Organizational Technologies: Investments into the Future]. *Trudy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Energoobespechenie i energosberezhenie v selskom khozyaystve»* [Proceedings of International Research and Technical Conference «Energy Supply and Energy Saving in Agriculture»]. 2010. Vol. 1. Pp. 406-412.
9. Vorobev O.N., Kurbanov E.A. Monitoring sostoyaniya rastitelnogo pokrova na territorii Respubliki Mariy El s ispolzovaniem ENVISAT MERIS [Monitoring of Plant Cover Condition in the Republic of Mari El Using ENVISAT MERIS]. *Vestnik MGUL – Lesnoy vestnik* [Vestnik of MSFU – Forest Vestnik]. 2013. № 7(99). Pp. 42–45.
10. Yuan F., Sawaya K.E., Loeffelholz B.C., Bauer M.E. Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Met-ropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing. *Remote Sensing of Environment*. 2005. № 98. Pp. 317 – 328.
11. Jensen R.R., Perry J.H. Estimating urban leaf area using field measurements and satellite remote sensing data. *Journal of Arboriculture*. 2005. № 31(1). Pp. 21-27.
12. Vorobev O.N., Kurbanov E.A., Gubaev A.V., et al. Distantnyy monitoring lesnykh garey v Mariyskom Zavolzh'e [Remote Monitoring of Forest Fire-Sites in Mari Trans-Volga Region]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie*. [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2012. № 1 (15). Pp. 12-22.
13. Voogt J.A., Oke T.R. Thermal Remote Sensing of Urban Climates. *Remote Sensing of Environment*. 2003. № 86. Pp. 370–384.
14. Meng F., Liu M. Remote-sensing image-based analysis of the patterns of urban heat islands in rapidly urbanizing Jinan, China. *International Journal of Remote Sensing*. 2013. № 34(24). Pp. 8838-8853.
15. Publichnaya kadaastrovaya karta [Public Cadastral Map]. URL: <http://maps.rosreestr.ru/PortalOnline> (Reference date 08.03.2015).
16. Kurbanov E.A., Vorobev O.N., Nezamaev S.A., et al. Tematicheskoe kartirovanie i stratifikatsiya lesov Mariyskogo Zavolzhya po sputnikovym snimkam Landsat [Thematic Mapping and Stratification of the Mari Trans-Volga Region Forests by Satellite Images Landsat]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie*. [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2013. № 3 (19). Pp. 72-82.
17. Healey S.P., Cohen W.B., Zhiqiang Y., Krankina O. Comparison of Tasseled Cap-Based Landsat Data Structures for Use in Forest Disturbance Detection. *Remote Sensing of Environment*. 2005. № 97. Pp. 301 – 310.
18. Sistema klassifikatsii zemnogo pokrova (LCCS): Ponyatiya klassifikatsii i rukovodstvo polzovatelya [Land Cover Classification System (LCCS): An Idea about Classification and User Guide]. *Organizatsiya OON po voprosam prodovolstviya i selskogo khozyaystva* [Food and Agriculture Organization of the United Nations]. Rome. 2005. 108 p.
19. Gubaev A.V., Kurbanov E.A., Krankina O.N., Vorobev O.N. Monitoring i prognozirovaniye sostoyaniya lesnykh nasazhdeniy metodami distantionnogo zondirovaniya [Monitoring and Prognostication of Forest Stands Condition by Remote Sensing]. *Vliyaniye anomalnoy pogody na prirodnye, sotsialno-ekonomicheskie i iskusstvennyye sistemy: zasukha 2010 goda v Povolzh'e Rossii: materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii NASA i seminar GOF-C-GOLD/NEESPI* [Influence of Abnormal Weather on the Natural, Social and Economic and Artificial Systems: Drought – 2010 in Volga Region: proceedings of International Research Conference NASA and seminar GOF-C-GOLD/NEESPI]. Yoshkar-Ola: Volga State University of Technology, 2012. P. 92-98. URL: <http://csfm.marstu.net/publications.html> (Reference date 18.03.2015).
20. Vorobev O.N., Kurbanov E.A., Lezhnin S.A., Polevshchikova Yu.A., et al. Metodika vyyavleniya stepeni povrezhdeniya drevostoev posle pozharov 2010 goda v Srednem Povolzh'e [A Methods to Reveal the Damage Level of Trees after Fires - 2010 in the Middle Volga Region]. *Sovremennyye problemy distantionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Present-Day Problems of the Earth Remote Sensing out from the Space]. № 4 (11). 2014. Pp. 217-229.
21. Krummel J.R., Gardner R.H., Sugihara G. Landscape Patterns in a Disturbed Environment. *Oikos*. 1987. Vol. 4, № 3. Pp. 321-324.
22. Brown D.G., Duh J.D., Drzyzga S.A. Estimating Error in an Analysis of Forest Fragmentation Change Using North American Landscape Characterization (NALC) Data. *Remote sensing of environment*. 2000. № 7. Pp. 106-107.
23. Ohman K., Lamas T. Reducing forest fragmentation in long-term forest planning by using the shape index. *Forest Ecology and Management*. 2005. № 212. Pp. 346-357.
24. Herold M., Scepan J., Clarke K.C. The use of remote sensing and landscape metrics to describe structures and changes in urban land uses. *Environment and Planning*. 2002. № 34. Pp. 1443-1458.
25. Kurbanov E.A., Vorobev O.N., Gubaev A.V., et al. Otsenka zarastaniya zemel zapasa Respubliki Mariy El lesnoy rastitelnostyu po sputnikovym snimkam [An Analysis of Mari El Reserve Lands Colonization]

zation by Forest Vegetation Using Satellite Images]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie*. [Vestnik of Mari State Technical University. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2010. № 2 (9). Pp. 14-20

26. Kasanko M., Barredo J.I., Lavalle C., McCormick N., Demicheli L., Sagris V., Brezger A. Are European Cities Becoming Dispersed? A Comparative Analysis of 15 European Urban Areas. *Landscape and Urban Planning*. 2006. № 77. P. 111–130.

The article was received 09.02.15.

Citation for an article: Vorobyev O. N., Kurbanov E. A., Gubayev A. V., Polevshikova Y. A., Demisheva E. N., Koptelov V. O. Remote monitoring of urban forests. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2015. No 1 (25). Pp. 5-21.

Information about the authors

VOROBYEV Oleg Nikolayevich – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at the Chair of Silviculture and Forest Inventory, Volga State University of Technology. Research interests – forest remote sensing and GIS, carbon sequestration by the forest ecosystems, forest ecosystems monitoring. The author of 50 scientific publications and textbooks. E-mail: vorobievon@volgatech.net

KURBANOV Eldar Alikramovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor at the Chair of Silviculture and Forest Inventory, Head of the Centre of Sustainable Forest Management and Remote Sensing, Volga State University of Technology. Research interests – sustainable forest management, remote sensing and GIS, biological productivity of forest ecosystems, carbon sequestration by the forest ecosystems, Kyoto forests. The author of 130 scientific publications and textbooks. E-mail: kurbanovea@volgatech.net

GUBAYEV Aleksandr Vladimirovich – PhD student of the forestry department of Volga State University of Technology. Research interest – forest remote sensing and GIS, biological productivity of forest ecosystems. The author of 20 research publications. E-mail: galex@volgatech.net

POLEVSHCHIKOVA Yuliya Alexandrovna – PhD student at the Chair of Silviculture and Forest Inventory, Volga State University of Technology. Research interest – remote sensing and GIS, biological productivity of forest ecosystems. The author of 20 publications. E-mail: polevshikovaya@volgatech.net

DEMISHEVA Ekaterina Nikolayevna – PhD Student at the Chair of Silviculture and Forest Inventory, Volga State University of Technology. Research interest – forest remote sensing, assessment of contaminated and polluted lands. The author of 5 research publications. E-mail: kls@volgatech.net

KOPELOV Vasily Olegovich – master student of the forestry department of Volga State University of Technology. Research interest – forest remote sensing and GIS, ecology. E-mail: koptelovvo@volgatech.net

UDK 630*58:004

FOREST/NON FOREST MAPPING USING LANDSAT THEMATIC MAPPER IMAGERY AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS (ANNs)

A. Stefanidou, E. Dragozi, M. Tompoulidou, I. Z. Gitas

Aristotle University of Thessaloniki,
P.O. Box 248, 54124, Thessaloniki, Greece
E-mail: alexands@for.auth.gr

Forest area and the landscape level spatial pattern of forests are two of the indicators for sustainable forest management in Europe (MCPFE 2003). As they are important for forest policymaking (MCPFE 2007), there is a constant need of timely and accurate information about their current status. The aim of this study was to examine the potential of Artificial Neural Networks (ANNs) in differentiating forest from non-forested areas and to explore how the use of higher-order features, derived from a Landsat-5 TM image, could improve the performance of the ANNs classifier. The features were generated through the application of the Tasseled Cap transformation and Principal Component Analysis (PCA). The study area is a typical Mediterranean region located in the north-east part of Greece. The results from the classification accuracies of the study revealed that the most accurate map (Overall Accuracy (OA) =91,76 %-Kappa Index of Agreement (KIA) =0,787) was generated through the implementation of ANNs on the three bands produced by the application of Tasseled Cap transformation on the Landsat TM image. The comparison of the produced map products with the Pan-European Forest Map 2000 of the Joint Research Centre (JRC) (FMAP 2000), showed that the overall accuracy of the JRC map (OA=78,02 %-KIA=0,446) is lower than the ones of the maps that were produced by ANNs. Finally, it is concluded that, for this study area, the implemented methodology for differentiating areas covered by forest from other classes led to the production of maps of high accuracy, which exceed the adequate accuracy of the FMAP 2000.

Key words: forest/non-forest mapping; Artificial Neural Networks; Tasseled Cap transformation; Principal Component Analysis.

Introduction. Interest in the world's forests has grown to unprecedented heights, not only due to the growing awareness of their role in the global carbon cycle but also due to the fact that forests represent some of the most diverse ecosystems on Earth [1, 2]. Forests' degradation can intensify the phenomenon of climate change [3], as well as provoke phenomena, such as desertification [4]. As a result, national governments are looking for ways to strengthen their forest management policies, in order to preserve sustainability in forest ecosystems [5].

As far as the Mediterranean basin is concerned, forests represent a significant part of the flora [6], while they are considered one of the most important ecosystems of the spe-

cific geographic area. Nevertheless, nowadays, the Mediterranean forests are vulnerable to various threats, such as forest fires, excessive exploitation, deforestation and degradation [4]. In order for these severe challenges to be confronted, Mediterranean forests require protection and rational management.

The effectiveness of forest management is highly dependent on the availability of accurate and current information regarding the status of the managed areas. Two of the most basic information required by policy and decision makers is the forest cover and how it changes over time [5]. Therefore, there is a constant need for the production of up-to date forest cover maps.

© Stefanidou A., Dragozi E., Tompoulidou M., Gitas I. Z., 2015.

Citation for an article: Stefanidou A., Dragozi E., Tompoulidou M., Gitas I. Z. Forest/Non Forest mapping using Landsat Thematic Mapper Imagery and Artificial Neural Networks (ANNs). Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management. 2015. No 1 (25). Pp. 22-33.

Satellite remote sensing in combination with Geographic Information Systems constitute an inexpensive and practical solution for the production of land cover maps, as well as for geographic information management [7–9]. Satellite remote sensing, in particular, has been proved as a useful tool in various environmental applications, which, in most cases, require constant monitoring and mapping extensive and inaccessible areas [10].

The satellite data that are frequently used in the field of forest mapping are data from medium (Landsat TM) and coarse resolution sensors, such as MODIS (250 m), AVHRR (1 km) and SPOT-VGT (1 km) [11–15].

Respectively, the classification techniques that have been used, up until now, for forest/non forest mapping include Maximum Likelihood classifier, Artificial Neural Networks (ANNs) [16] and Decision Trees [17]. Examples of ANNs in forest mapping can be found in the international literature [16, 18–23].

ANNs are Artificial Systems that resolve problems inspired by the function of the human brain. Over the past decades, ANNs have been proved to be a widely acceptable tool for environmental applications and, more specifically, in the field of satellite remote sensing [24, 25]. As Atkinson and Tatnall [26] mention that the proven usefulness of ANNs in remote sensing is due to the following advantages:

- ANNs are more accurate and more rapid than the statistical classifiers;
- they have the ability to combine a priori knowledge and realistic physical constraints into the analysis;
- they can be applied on different types of data, facilitating synergistic studies.

In the present study, ANNs were applied considering the advantages presented above, as well as the fact that this artificial technique has not been fully explored for mapping Greek forests.

In spite of the specific classification technique, which, according to the international literature, can significantly increase the mapping accuracy, the overall accuracy can

also be improved with the use of additional useful information (e.g. altitude, slope etc.) [27]. However, recent studies have addressed the use of higher-order features, which derive from a variety of spectral transformations of satellite imagery. The spectral transformations analyze the reflectance values of every pixel of the image, producing new values in a different spectral space. The most widely applied spectral transformations include the Kauth-Thomas (Tasseled Cap) transformation [28, 29] and Principal Component Analysis (PCA) [30, 31].

According to the literature, the use of additional features in a classification does not always contribute to the improvement of the map product accuracy. Moreover, the use of numerous additional features may render the classification process time-consuming or even impossible to perform [32]. In this case, it is recommended to decrease the number of features, in order the classification results to be improved [33].

In the present study, higher-order features, which derived from the two above-mentioned image transformations (Tasseled Cap and PCA), were used in combination with ANNs.

The aim of the present study was the investigation of the potential of using Landsat data and ANNs for forest/non forest mapping. The specific objectives were:

- to investigate the potential of using ANNs in forest/non forest classification of a Landsat-5TM image;
- to investigate the potential of applying ANNs for forest/non forest mapping using two images, each of which includes the features derived from the Tasseled Cap and PCA image transformation respectively;
- to investigate the potential of applying ANNs for forest/non forest mapping using an image, which includes the initial bands of Landsat-5TM image and the features derived from the Tasseled Cap image transformation;
- to compare the produced forest/non forest maps with the FMAP 2000.

Study Area and Dataset Description.

The study area is the Island of Lesvos, which is located in the Mediterranean region and more specifically in the north-east part of Greece. The Island of Lesvos is characterized by rich flora and is one of the most forested islands of the Aegean Sea. A large percentage of the area of Lesvos is covered by pines, oaks, olive plantations and chestnut trees. Mediterranean-type climatic conditions with hot summers and mild winters, are characteristically prevailing.



Fig. 1. Study area located in Greece

Datasets used in the course of this study, include:

- a Landsat-5TM image acquired over the study area, in May 2002;
- the FMAP 2000, which was used in both the training phase of the classification process and the comparison of the produced maps to this already available pan-European product;
- two independent sets of training and validation points, originating from photointerpretation of very high resolution imagery (Greek National Digital Orthophoto Database, Google Earth);
- additional auxiliary data such as the Land Parcel Identification System (LPIS) data for Greece and the administrative boundaries of Greece.

Dataset Preprocessing. The dataset preprocessing was accomplished in two phases. The first phase included the preprocessing of the data and the transformations of the Landsat-5TM image. The second phase included the collection and photointerpretation of training samples, which were used for the training of the classifier.

Dataset preprocessing and feature extraction. First of all, the preprocessing of the Landsat-5TM image was performed, according to the steps presented in the following flowchart (Fig. 2).

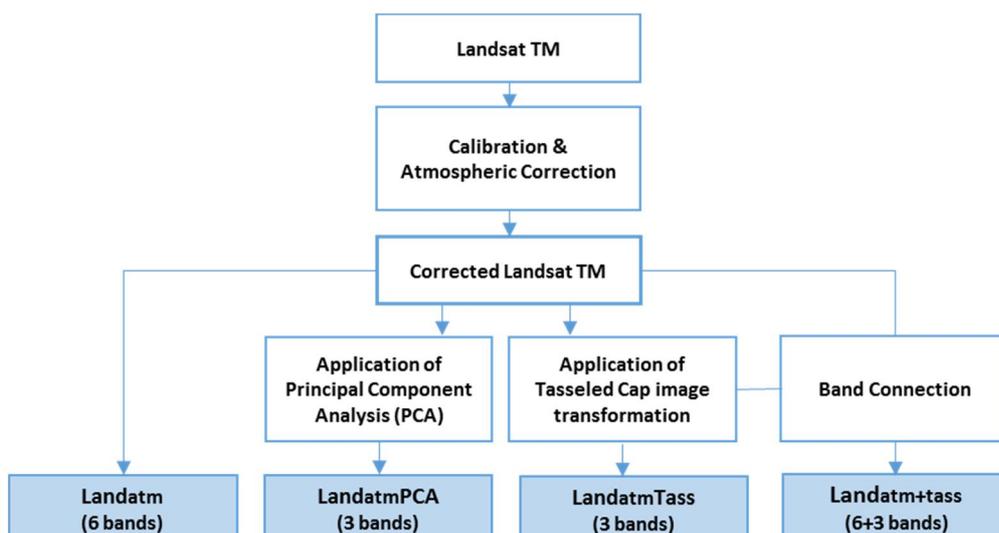


Fig. 2. Landsat-5TM preprocessing flowchart

The first step of the Landsat-5TM preprocessing involved the calibration proposed by Chander and Markham [34], and the «dark-object subtraction» atmospheric correction method [35]. This type of correction aimed, mainly, at the quality improvement of the satellite image.

In order to investigate the specific objectives of the present study, three new images were produced through the implementation of the Tasseled Cap transformation and the Principal Component Analysis (PCA).

More specifically, at first, the Tasseled Cap transformation was applied on the initial Landsat-5TM image. According to the literature, the values of the three new bands derived from this transformation correspond to the overall brightness of the image, the presence of chlorophyll (greenness) and the soil moisture (wetness) [28, 29].

The implementation of the PCA followed. PCA transformation is a linear transformation, which performs image data compression, producing two or three transformed principal components, which tend to be encoded more easily than the initial data [30, 36]. As a result, three new band images were produced.

After completing the above-mentioned tasks, the data produced are the following:

- an atmospherically corrected Landsat-5TM image (Landatm);
- an image (LandatmPCA) which includes the three bands derived from the implementation of PCA on the Landatm;
- an image (LandatmTass) which includes the three bands (brightness, greenness, wetness) derived from the implementation of the Tasseled Cap transformation on the Landatm;
- an image (Landatm+tass) which includes the nine bands derived from the connection of the six bands of the initial Landsat image with the three bands (brightness, greenness, wetness) derived from the implementation of the Tasseled Cap transformation on the Landatm.

Finally, the Island of Lesvos was extracted from all the produced images. The same procedure was performed to the FMAP 2000, in order to be able to compare it with the forest/non forest maps produced in the present study. In addition, the agricultural areas were removed from the study area due to their significant spectral similarity to the forested areas and, consequently, the difficulty of their differentiation [37].

Training samples generation. The generation of the training samples was based on the stratified random sampling method applied on the FMAP 2000.

The number of points was indicated by Fitzpatrick-Lins (1981) Eq.1.

$$N = \frac{Z^2(p)(q)}{E^2}, \quad (1)$$

for $Z=2$, $p=85\%$ and $E=5\%$, where p is the expected percent accuracy, $q=100-p$, E is the allowable error, and $Z=2$.

The number of points computed by Equation 1, with expected percent accuracy 85% and allowable error 5%, was 203. However, in order to avoid spatial autocorrelation [38], the number of the training samples was reduced to 111.

The samples were identified as 'Forest' and 'Non Forest', using the JRC forest definition* and photointerpretation based on the Greek National Digital Orthophoto Database and Google Earth. Samples' identification was made within a radius of 75 meters since the characterization of each point depends on the percentage of forest cover inside this area.

Methodology. After preprocessing the data, the application of the methodology was performed. The steps followed in order to accomplish the specific task is presented in the flowchart below (Fig.3).

* The areas defined as 'forest' are larger than 0,5 ha. These areas are occupied by forest and woodlands with a vegetation pattern composed of native or exotic coniferous and/or broadleaved trees. The forest trees are taller than 5 m in height with more than 30 % crown cover.

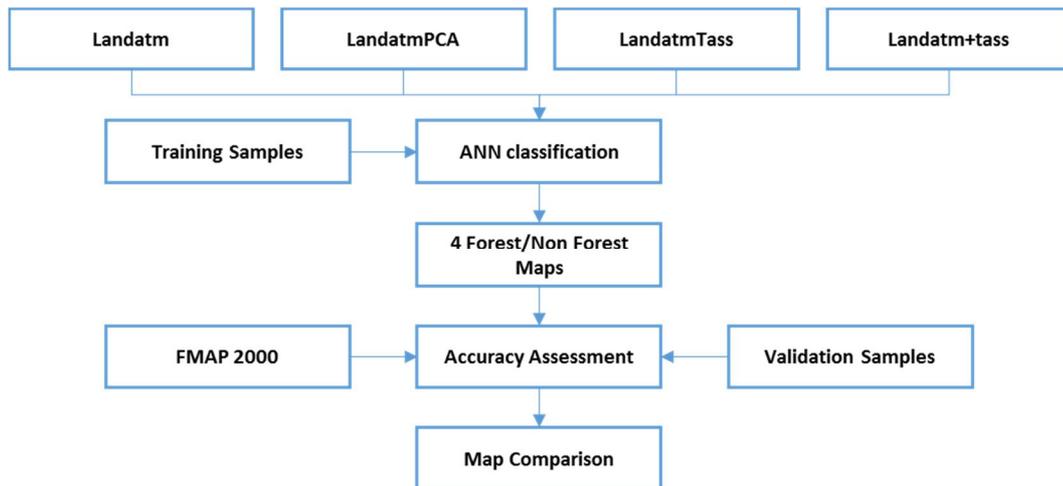


Fig. 3. Methodology Flowchart

Classification. The ANN model used was the multi-layer perceptron, trained by the algorithm named ‘back-propagation’. The basis of this algorithm is comparing the output of the ANN with the actual output values provided by the interpreter, and finding out which set of weights provide the least errors [25]. According to Atkinson and Tatnall [26], the multi-layer perceptron model is the most frequently used for image classification in satellite remote sensing. The model is provided by the ENVI software (in the present study 4.7 edition was used).

Although many users of ANNs accept the default training parameters and activation functions to work with, it is important to understand that these parameters and functions have significant consequences for the efficiency of the network training [27]. This is the reason why, the classification of each image was performed through a ‘trial and error’ procedure, aiming at the achievement of the best possible result.

Accuracy assessment. The generation of the validation points for the accuracy assessment of the produced forest/non forest maps was based on the methodology applied also for the generation of the training samples. In this case, 182 points were derived and identified as ‘Forest’ and ‘Non Forest’ by an experienced photo-interpreter.

Confusion matrix, a standard method for classification validation [39] was used in this study. This method cross-tabulates labels assigned to pixels by the classifier with labels assigned to the sampling points during field survey or other validation process, using geographic location as the key to cross-tabulation [40]. The matrices built in this study were analyzed with four measures of agreement, namely the Kappa Index of Agreement (KIA) [41], overall (OA), user’s (UA) and producer’s (PA) accuracy [40].

As mentioned above, the agricultural areas were removed from the study area, due to their spectral similarity to forests. Consequently, in order to assess the performance of ANNs, the agricultural areas were not taken into account. Nonetheless, these areas were eventually added to the produced forest/non forest maps, in order to obtain complete maps of the study area. In this case, the assessment of the final maps is required as well, in order to determine the accuracy of the complete cartographic product achieved by the presented methodology.

The FMAP 2000 was also assessed for its’ accuracy, so that it can be compared with the produced maps. Hence, the same set of 182 validation points was used.

The comparison was performed between the FMAP2000 and the complete cartograph-

ic products (agricultural areas included) produced by the methodology presented in this study.

Results and Discussion

Forest/non forest maps. Fig. 4 illustrates the map derived from the classification of the three bands produced by the employment of

the Tasseled Cap transformation on the Landsat-5TM image (Landatm), which was the most accurate produced in this study (OA=91,76 %). Fig. 5 shows the FMAP 2000, the accuracy of which was compared to the four forest/non forest maps produced using the ANNs.

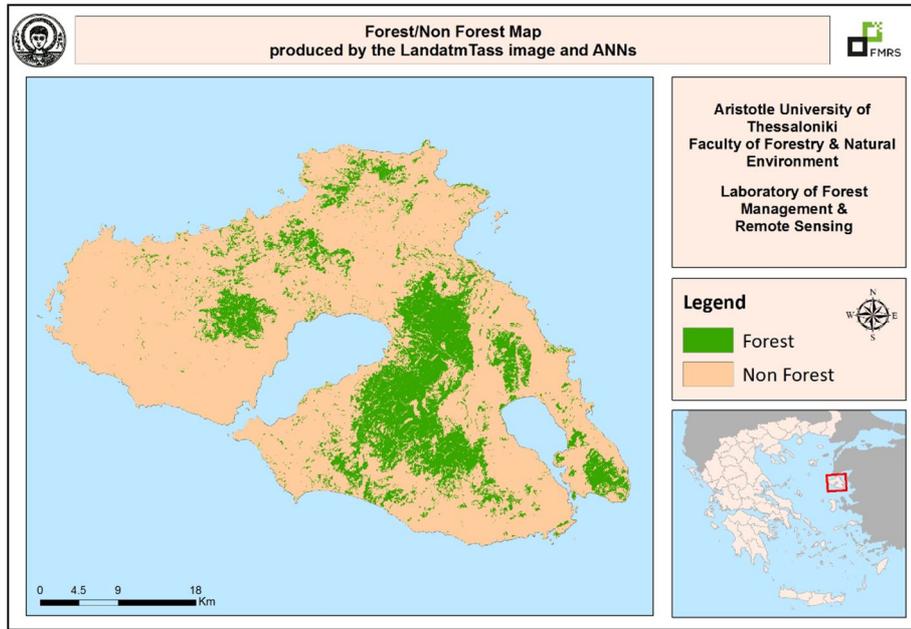


Fig. 4. Forest/Non Forest map produced by the classification of the three bands, derived from the implementation of Tasseled Cap image transformation on the initial Landsat image. It displays with the colors mentioned below the classes: 'forest' and 'non forest' (green= forest, beige= non forest)

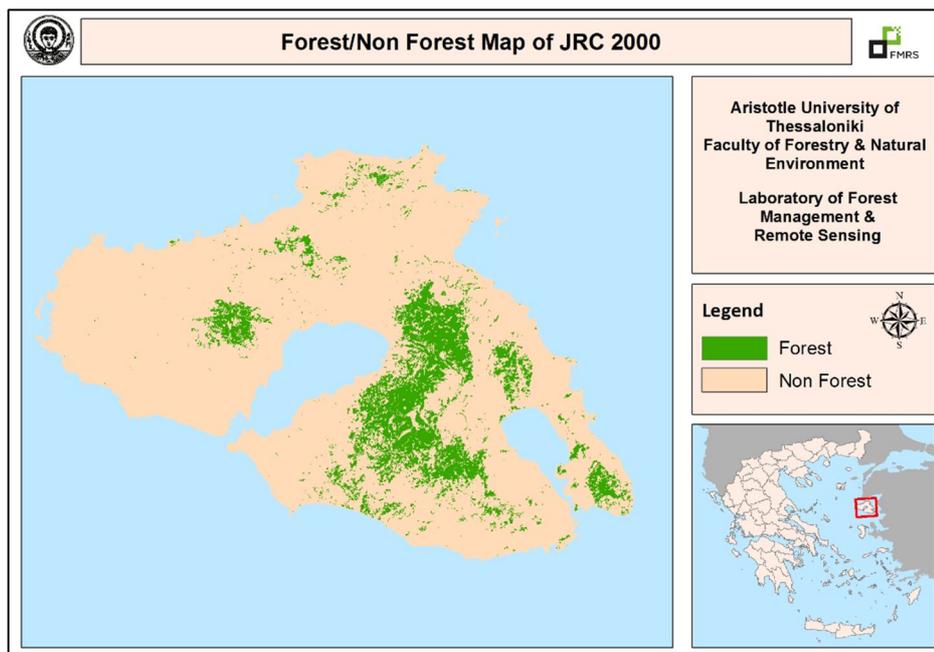


Fig. 4. Forest/Non-Forest map of the year 2000 of the Joint Research Centre (FMAP2000)

Table 1

Overall accuracy, Kappa coefficient, the producer's and user's accuracy for the classes 'forest' and 'non forest' of the produced maps that do not contain the agricultural areas and the JRC Forest Map 2000.

		PA (%)	UA (%)	OA (%)	KIA
Landatm	Forest	72,92	87,50	84,17	0,668
	Non Forest	91,67	84,50		
LandatmPCA	Forest	77,08	86,05	85,00	0,688
	Non Forest	90,28	86,67		
LandatmTass	Forest	83,33	86,96	87,50	0,743
	Non Forest	90,28	90,28		
Landatm+tass	Forest	66,67	88,89	82,50	0,628
	Non Forest	93,06	81,71		
JRC Forest Map 2000	Forest	52,08	80,65	78,02	0,446
	Non Forest	87,31	84,78		

Accuracy of the produced maps. The results from the accuracy assessment of the produced forest/non forest maps without the agricultural areas, as well as of the FMAP 2000 are presented in detail in Table 1.

Discussion. A closer look at the results of the accuracy assessment presented in chapter 5,2, reveals that in all four cases of classification with the use of ANNs, a production of forest/non forest maps with high accuracy was achieved. Moreover, it is shown that the implementation of the Tasseled Cap transformation on the Landsat image (Landatm) improves the accuracy of the cartographic result by 3,33 %.

More specifically, as far as the classification of the Landsat image (Landatm) is concerned, the accuracies achieved reached 84,17 % OA and KIA=0,668, 72,92 % PA and 87,50 % UA for class 'forest', 91,67 % PA and 84,50 % UA for the 'non forest' class. The examination of the accuracies PA and UA for each class, reveals an underestimation (low PA-high UA) of the class 'forest' and an overestimation (high PA-low UA) of the 'non forest' class. However, the OA (84,17 %) is high, while the value of KIA (0,668) indicates that the agreement between the map product and the reference data is actual and not random. As mentioned in a previous chapter, the agricultural areas, that were initially removed in order to facilitate the classification, were added to the map product for the creation of complete maps of the study area and their accuracy was also

assessed. In the case of the classification of the Landsat image, the accuracies achieved for the class 'forest' are 72,92 % PA and 87,50 % UA, for the 'non forest' class 95,52 % PA and 90,78 % UA, while the OA reached 89,56 % and KIA the value of 0,719. Based on these results, the expected increase of the OA, PA and UA for the 'non forest' class is observed due to the rural areas added to the cartographic result.

In the case of the classification of the three components (LandatmPCA), derived from the implementation of the PCA on the Landsat image, the estimated accuracies are 77,08 % PA and 86,05 % UA for the 'forest' class, 90,28 % PA and 86,67 % UA for the 'non forest' class, 85,00 % OA and 0,688 KIA. In this case, the values of PA and UA indicate an underestimation of the class 'forest' and an overestimation of the class 'non forest', while the values of OA and KIA are higher than the ones of the classification of the Landsat image. Furthermore, the accuracies of the complete cartographic product, which includes the agricultural areas, are for the 'forest' class 77,08 % PA and 86,05 % UA, for the 'non forest' class 94,78 % PA and 92,03 % UA, 90,11 % OA and 0,739 KIA.

The third map validated for its' accuracy is the one produced through the classification of the three bands (brightness, greenness, wetness) (LandatmTass), derived from the application of Tasseled Cap transformation on the Landsat image. In this case, it was estimated that for the class 'forest' the PA and

UA are 83,33 % and 86,96 % respectively, for the class 'non forest' the accuracies reached 90,28 % PA and 90,28 % UA, with 87,50 % OA and 0,743 KIA. These results reveal that the classes are neither underestimated nor overestimated, while the OA and KIA are higher than the respective accuracies of the two above-mentioned classifications, indicating the superiority of this map product. Moreover, adding the agricultural areas to the produced map, a complete map of the study area was created, the accuracies of which reached 83,33 % PA and 86,96 % UA for the class 'forest', 94,78 % PA and 94,07 % UA for the class 'non forest', 91,76 % OA and 0,787 KIA.

Finally, the accuracy assessment of the image which includes the six bands of the Landsat image and the three bands derived from the Tasseled Cap transformation (Landatm+tass) revealed that the accuracies reach 66,67 % PA and 88,89 % UA for the class 'forest', 93,06 % PA and 81,71 % UA for the class 'non forest', 82,50 % OA and 0,628 KIA. The significant variation of the PA and UA indicates an underestimation of the class 'forest' and an overestimation of the 'non forest' class. Subsequently, it can be noted that the other three cartographic products outperformed this one agreeing with the findings of Kavzoglu and Mather [32] that the use of additional features in a classification does not always contribute to the improvement of the map product accuracy. Adding to that, the accuracies of the complete map product are 66,67 % PA and 88,89 % UA for the 'forest' class, 96,27 % PA and 88,97 % UA for the 'non forest' class, while the OA is 88,46 % and KIA 0,680.

Based on the above, this study shows that the higher-order features contributed to the improvement of the map product's accuracy, except from the classification of the image, which includes the six bands of the initial Landsat image and the three bands derived from the Tasseled Cap image transformation. Although all four maps produced were of high accuracy, the image which was classified more accurately was the one with

the three bands derived from the implementation of the Tasseled Cap transformation on the initial Landsat image.

The FMAP 2000 was also validated in order to be compared with the Forest/Non-Forest maps produced in this study. The results showed that the OA of the map is 78,02 % and the KIA 0,446, while the PA and UA for the 'forest' class is 52,08 % and 80,65 % respectively. Furthermore, for the 'non forest' class the PA reach 87,31 % and the UA 84,78 %. The results reveal that the FMAP 2000 extremely underestimates the 'forest' class in the specific study area. In addition, the Kappa coefficient indicates that the agreement between the map product and the reference data is random.

Finally, the comparison of the FMAP 2000 with the forest/non forest map produced in this study leads to the conclusion that the accuracy of FMAP 2000 is noticeably lower, taking into account not only the OA, but the PA and UA for each class and the value of KIA, as well. The difference in detail and, consequently, in the accuracy between the produced maps and the FMAP 2000 is considered as a logical outcome, due to the large difference of the product's coverage. Therefore, it is illustrated that the production of new Forest/Non-Forest maps offers a better solution than using the already available cartographic product of the JRC, in cases where the study area is considerably smaller than the one of the FMAP 2000.

Conclusions. In the present study, a series of issues concerning, mainly, the use of ANNs in forest/non forest mapping were examined. The results of the study lead to the conclusion that the ANNs are suitable for forest/non forest mapping, producing maps of high accuracy, while the use of the Tasseled Cap image transformation contributes to the improvement of the cartographic result. Additionally, the results showed that the implementation of the methodology proposed in the present study area produced forest/non forest maps with higher accuracy than the one of the FMAP 2000.

Summarizing the results of the study, the following conclusions can be drawn:

- the combination of ANNs and Landsat images for forest/non forest mapping of the Island of Lesvos leads to the production of maps of high accuracy;
- the use of higher-order features (PCA and Tasseled Cap) for forest/non forest mapping of the Island of Lesvos with the use of ANNs produces highly accurate maps;
- the combination of the features derived from the Tasseled Cap transformation with the Landsat image using ANNs for forest/non forest mapping of the Island of Lesvos produces maps of satisfactory accuracy;
- the features derived from the Tasseled Cap transformation on the Landsat image

in combination with ANNs lead to the forest/non forest map of the highest accuracy, between the examined combinations;

- the implementation of ANNs on the Landsat image, irrespectively of the use of higher-order features or not, for forest/non forest mapping of the Island of Lesvos, lead to the production of highly accurate maps, which outperform the respective accuracy of the FMAP 2000.

Future research could involve the evaluation of the potential of using different higher-order features or satellite image of different sensors for mapping forests and differentiating them from non-forested areas with the use of ANNs.

REFERENCES

1. Kaimowitz, D. The role of forests in addressing global problems: what economic valuation methods won't tell us. 20-21 March 2002 Wageningen, Netherlands. Tropenbos International, 1-5.
2. FAO 2011. Food and Agriculture organization of the United Nations. Rome.
3. Regato, P. 2008. Adapting to global change: Mediterranean forests.
4. Palahi, M., Mavsar, R., Gracia, C. & Birot, Y. 2008. Mediterranean Forests Under Focus. International Forestry Review, 10, 676-688.
5. Europe, F. (2011). (SoEF) State of Europe's Forests 2011. Status and Trends in Sustainable Forest Management in Europe. Forest Europe. United Nations Economic Commission for Europe', Food and Agriculture Organization, Oslo, Norway, 337.
6. Huntley, B. & Birks, H. J. B. 1983. An Atlas of Past and Present Pollen Maps for Europe: 0–13000 Years Ago. Cambridge Univ. Press. Cambridge.
7. Schuck, A. 2003. Compilation of a European forest map from Portugal to the Ural mountains based on earth observation data and forest statistics. Forest policy and economics, 5, 187-202.
8. Potapov, P., Turubanova, S. & Hansen, M. C. 2011. Regional-scale boreal forest cover and change mapping using Landsat data composites for European Russia. Remote Sensing of Environment, 115, 548-561.
9. Loboda, T. Krankina, O.N., Kurbanov, E.A. Understanding Origins and Impacts of Drought. Eos, Transactions American Geophysical Union. 2012. Vol. 93(42). Pp. 417.
10. Fassnacht, K. S., Cohen, W. B. & Spies, T. A. 2006. Key issues in making and using satellite-based maps in ecology: A primer. Forest Ecology and Management, 222, 167-181.
11. Woodcock, C. E., Collins, J. B., Gopal, S., Jakabhazy, V. D., Li, X., Macomber, S., Ryherd, S., Judson Harward, V., Levitan, J., Wu, Y. & Warbington, R. 1994. Mapping forest vegetation using Landsat TM imagery and a canopy reflectance model. Remote Sensing of Environment, 50, 240-254.
12. Pax-Lenney, M., Woodcock, C. E., Macomber, S. A., Gopal, S. & Song, C. 2001. Forest mapping with a generalized classifier and Landsat TM data. Remote Sensing of Environment, 77, 241-250.
13. Dorren, L. K. A., Maier, B. & Seijmonsbergen, A. C. 2003. Improved Landsat-based forest mapping in steep mountainous terrain using object-based classification. Forest Ecology and Management, 183, 31-46.
14. Pekkarinen, A., Reithmaier, L. & Strobl, P. Pan-European Forest/Non-Forest Mapping based on Landsat data. 10th AGILE International Conference on Geographic Information Science, 2007 Aalborg University, Denmark.
15. Pekkarinen, A., Reithmaier, L. & Strobl, P. 2009. Pan-European forest/non-forest mapping with Landsat ETM+ and CORINE Land Cover 2000 data. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 64, 171-183.
16. Tan, K. C., Lim, H. S. & Matjafri, M. Z. Comparison of Neural Network and Maximum Likelihood classifiers for land cover classification using landsat multispectral data. Open Systems (ICOS), 2011 IEEE Conference on, 25-28 Sept. 2011. 241-244.
17. Simard, M., Saatchi, S. S. & DE Grandi, G. 2000. The use of decision tree and multiscale texture for classification of JERS-1 SAR data over tropical forest. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 38, 2310-2321.

18. Civco, D. L. 1993. Artificial neural networks for land-cover classification and mapping. *International Journal of Geographical Information Systems*, 7, 173-186.
19. Miller, D. M., Kaminsky, E. J. & Rana, S. 1995. Neural network classification of remote-sensing data. *Computers & Geosciences*, 21, 377-386.
20. Skidmore, A. K. 1997. Performance of a neural network: Mapping forests using GIS and remotely sensed data. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 63, 501.
21. Dong, J., Xiao, X., Sheldon, S., Biradar, C. & Xie, G. 2012. Mapping tropical forests and rubber plantations in complex landscapes by integrating PALSAR and MODIS imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 74, 20-33.
22. Rogan, J., Bumbarger, N., Kulakowski, D., Christman, Z. J., Runfola, D. M. & Blanchard, S. D. 2010. Improving forest type discrimination with mixed lifeform classes using fuzzy classification thresholds informed by field observations. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 36, 699-708.
23. Papa, J. P., Falcão, A. X., De Albuquerque, V. H. C. & Tavares, J. M. R. S. 2012. Efficient supervised optimum-path forest classification for large datasets. *Pattern Recognition*, 45, 512-520.
24. Mas, J. F. & Flores, J. J. 2007. The application of artificial neural networks to the analysis of remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 29, 617-663.
25. Chuvieco, E. & Huete, A. 2009. *Fundamentals of satellite remote sensing*. 488.
26. Atkinson, P. M. & Tatnall, A. R. L. 1997. Introduction Neural networks in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 18, 699-709.
27. Kanellopoulos, I. & Wilkinson, G. G. 1997. Strategies and best practice for neural network image classification. *International Journal of Remote Sensing*, 18, 711-725.
28. Kauth, R. J. & Thomas, G. The tasseled cap—a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. *LARS Symposia*, 1976. 159.
29. Crist, E. P. & Cicone, R. C. 1984. A Physically-Based Transformation of Thematic Mapper Data---The TM Tasseled Cap. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, GE-22, 256-263.
30. Eklundh, L. & Singh, A. 1993. A comparative analysis of standardised and unstandardised Principal Components Analysis in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 14, 1359-1370.
31. Richards, J. A. 2013. *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction*.
32. Kavzoglu, T. & Mather, P. M. 2002. The role of feature selection in artificial neural network applications. *International Journal of Remote Sensing*, 23, 2919-2937.
33. Fukunaga, K. 1990. *Introduction to statistical pattern recognition*, Academic press.
34. Chander, G. & Markham, B. 2003. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 41, 2674-2677.
35. CHAVEZ, P. S. 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 24, 459-479.
36. Jia, X. & Richards, J. A. 1999. Segmented principal components transformation for efficient hyperspectral remote-sensing image display and classification. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 37, 538-542.
37. ΔΗΜΗΤΡΑΚΟΠΟΥΛΟΣ, Κ., Χαρτογράφηση χρήσης/κάλυψης γης με την αντικειμενοστραφή ταξινόμηση εικόνων Spot. Object oriented classification of Spot imagery for land cover mapping. Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Φεβρουάριος 2010.
38. Congalton, R. G. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37, 35-46.
39. Congalton, R. G., & Green, K. (1999). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and applications*, Lewis Publishers, Bora Raton, Florida, USA
40. Story, M. & Congalton, R. G. 1986. Accuracy assessment-A user's perspective. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 52, 397.
41. Cohen, J. 1960. A coefficient of agreement with provision for scaled disagreement or partial credit. *Psychological Bulletin*, 70, 213-220.

The article was received 11.02.15

Information about the authors

STEFANIDOU Alexandra – Msc Candidate in the Laboratory of Forest Management and Remote Sensing at the Aristotle University of Thessaloniki, Greece. Research interests: land cover/land use mapping, fuel-type mapping, advanced classification algorithms, Object-Based Image Analysis. The author of 1 publications

DRAGOZI Eleni – Ph.D. Candidate, Forestry Department, Aristotle University of Thessaloniki, Greece. Research associate in the Laboratory of Forest Management and Remote Sensing at the Aristotle University of Thessaloniki, Greece. Research interests – burned-area mapping, fire severity mapping, post-fire monitoring, advanced classification algorithms, land cover/land use mapping. The author of 10 publications. E-mail: edragozi@for.auth.gr

TOMPOULIDOU Maria – Forester Msc, Research associate in the Laboratory of Forest Management and Remote Sensing at the Aristotle University of Thessaloniki, Greece. Research interests – Object-Based Image Analysis, fuel-type mapping, land cover/ land use mapping, advanced classification algorithms. The author of 7 publications E-mail: tompmary@for.auth.gr

GITAS Z. Ioannis – PhD in Geographical Information Systems (GIS) and Remote Sensing, Associate Professor with the School of Forestry and Natural Environment, Aristotle University of Thessaloniki, Greece. Research interests – fuel-type mapping, burned-area mapping, post-fire monitoring, the role of forest fire in global climatic change. The author of 54 publications. E-mail: igitas@for.auth.gr

УДК 630*58:004

КАРТИРОВАНИЕ ЛЕСНЫХ И НЕ ЛЕСНЫХ ПЛОЩАДЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LANDSAT TM И АЛГОРИТМА «ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ» (ANNs)

А. Стефанидоу, Е. Драгози, М. Томпулидоу, Я. З. Гитас

Университет имени Аристотеля
54124, Греция, Салоники, Р.О. Вох 248
E-mail: alexands@for.auth.gr

Ключевые слова: *картирование лесных и не лесных земель; искусственные нейронные сети; трансформация «колпачок с кисточкой»; анализ главных компонент.*

В настоящей работе был рассмотрен ряд положений, которые касаются, главным образом, использования ANNs при картировании лесных и не лесных земель. Индикаторами устойчивого управления в лесном хозяйстве Европы на ландшафтном уровне (MCPFE 2003) являются пространственная структура и общая площадь лесов. Оба эти индикатора важны для принятия решений на уровне (MCPFE 2007), поэтому существует необходимость в своевременной и точной информации об их текущем состоянии. **Целью** настоящей работы явилось исследование потенциала метода «искусственные нейронные сети» (ANNs) при оценке дифференцирования лесных и не лесных земель, а также анализ применимости данных более высокого уровня, полученных по снимкам Landsat-5 TM с целью улучшения производительности классификатора (ANNs). Исходные параметры снимков были преобразованы при помощи инструментов трансформации изображений: «колпачок с кисточкой» (Tasseled Cap transformation) и анализа главных компонент (Principal Component Analysis, PCA). Исследования проводились в типичной для Средиземноморья местности на северо-востоке Греции. В результате оценки точности классификации было выявлено, что наиболее точная карта (общая точность – 91,76 %, коэффициент согласованности Каппа KIA=0,787) была создана с использованием метода ANNs на основе трёх изображений преобразованного методом «колпачок с кисточкой» снимка Landsat-TM. Сравнение полученной карты с общеевропейской картой лесного покрова 2000, разработанной Объединённым исследовательским центром (JRC) в 2000 году (FMAP 2000), показало, что общая точность классификации этой карты (OA=78,02 %, KIA=0,446) ниже, чем точность карты, которая была создана при помощи метода «искусственные нейронные сети» (ANNs). Результаты исследования позволяют сделать вывод о том, что ANNs подходит для картирования лесных и не лесных земель, создания карт высокой точности, кроме того использование преобразования «колпачок с кисточкой» позволяет улучшить результаты картирования. По итогам работы были сделаны следующие **выводы:** комбинирование метода ANNs и снимков Landsat для картирования лесных и не лесных земель позволяет создавать карты высокой точности; использование данных более высокого уровня (анализа главных компонент (PCA) и преобразования «колпачок с кисточкой») для картирования лесных и не лесных земель с использованием ANNs позволило создать карту высокой точности греческого острова Лесбос; комбинирование параметров изображения Landsat, полученных на основе трансформированного метода «колпачок с кисточкой» и метода ANNs для картирования лесных и не лесных земель острова Лесбос, позволило создать карту приемлемой точности. Результаты исследований показали, что внедрение предложенной в настоящей работе методики создания карт лесных и не лесных земель позволяет получить карты более высокой точности, чем FMAP 2000. Дальнейшее исследование может быть связано с оценкой потенциала использования материала высокого порядка или спутниковых снимков, полученных от различных датчиков, для картографирования лесов и дифференцирования их от не покрытых лесом территорий при помощи ANNs.

Статья поступила в редакцию 11.02.15

Ссылка на статью: Стефанидоу А., Драгози Е., Томпоулидоу М., Гитас Я. З. Картирование лесных и не лесных площадей с использованием Landsat TM и алгоритма «Искусственные нейронные сети» (ANNs). // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 1 (25). – С. 22-33.

Информация об авторах

Александра СТЕФАНИДОУ – магистр Лаборатории лесоустройства и дистанционного зондирования, Университет имени Аристотеля. Область научных интересов – картирование растительного покрова/ сельскохозяйственных угодий, составление карт полезных ископаемых, алгоритмы прогрессивной классификации, объектно ориентированный анализ снимков. Автор одной публикации.

Элени ДРАГОЗИ – доктор наук, отделение лесоводства; научный сотрудник Лаборатории лесоустройства и дистанционного зондирования, Университет имени Аристотеля. Область научных интересов – картирование гарей, картирование интенсивности развития пожара, мониторинг местности после пожаров, алгоритмы прогрессивной классификации, картирование растительного покрова/ сельскохозяйственных угодий. Автор 10 публикаций. E-mail: edragozi@for.auth.gr

Мария ТОМПОУЛИДОУ – магистр по специальности «Лесоводство», научный сотрудник Лаборатории лесоустройства и дистанционного зондирования, Университет имени Аристотеля. Область научных интересов – объектно ориентированный анализ снимков, составление карт полезных ископаемых, картирование растительного покрова/ сельскохозяйственных угодий, алгоритмы прогрессивной классификации. Автор семи публикаций. E-mail: tompmary@for.auth.gr

Янис З. ГИТАС – доктор философии в области геоинформационных систем и дистанционного зондирования, доцент факультета лесоводства и природной среды, Университет имени Аристотеля. Область научных интересов – составление карт полезных ископаемых, картирование гарей, мониторинг местности после пожаров, роль лесных пожаров в изменении климата. Автор 54 публикаций. E-mail: igitas@for.auth.gr

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

УДК 674.8-036.61.8

КОМПЛЕКСНЫЕ СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

С. А. Угрюмов, А. А. Федотов, А. В. Осетров

Костромской государственной технологической университет,
Российская Федерация, 156005, Кострома, ул. Держинского, 17
E-mail: ugr-s@yandex.ru

Представлены основные способы повышения физико-механических характеристик древесно-стружечных плит. Выявлено, что значимо повысить физико-механические свойства древесно-стружечных плит можно путём использования древесных частиц определённых пород и размеров, ориентации древесных частиц, применения гидрофобных добавок, методов регулирования технологических режимов горячего прессования, использования новых отвердителей и наполнителей, методов предварительной подготовки и обработки стружки, применения модифицированных и альтернативных связующих.

Ключевые слова: *древесно-стружечные плиты; физико-механические свойства; прочность; водостойкость; гидрофобные добавки; горячее прессование; отвердитель; модификация; альтернативное связующее.*

Введение. Древесина и древесные композиционные материалы издавна широко используются человеком в различных сферах. Уже давно потребление древесных ресурсов на планете превысило возможности производящих сил природы, поэтому с особой остротой встают вопросы повышения эффективности функционирования экономики лесного сектора, совершенствования всех сфер деятельности человека, связанных с переработкой древесины. Исходя из растущего потребления древесины и, зачастую, нерационального её использования, остро стоит вопрос переработки низкосортной древесины и отходов деревообработки. Производство древесных плит позволяет не

только получать конкурентоспособный конструкционный материал с рядом желаемых свойств, но и комплексно использовать древесину и утилизировать древесные отходы. Согласно «Прогнозу развития лесного комплекса России до 2030 г.» [1], потребность в качественных древесно-стружечных плитах сохранится в ближайшие полтора десятилетия, а объёмы их производства вырастут более чем в два раза, при этом вопросам совершенствования физико-механических характеристик древесно-стружечных плит будет уделяться повышенное внимание.

Цель работы – анализ основных способов повышения физико-механических свойств древесно-стружечных плит.

© Угрюмов С. А., Федотов А. А., Осетров А. В., 2014.

Ссылка на статью: Угрюмов С. А., Федотов А. А., Осетров А. В. Комплексные способы повышения физико-механических свойств древесно-стружечных плит // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 1 (25). – С. 34-44.

Решаемые задачи: определение эффективных комплексных способов повышения свойств древесных плит.

Известные комплексные способы повышения физико-механических свойств древесно-стружечных плит. Прочность и водостойкость – одни из важнейших характеристик древесных плит, зависящие от многих факторов: геометрии стружки, породы древесины, ориентирования древесных частиц, применения специальных добавок, характера склеивания древесных частиц в процессе прессования и методов регулирования технологических режимов, использования новых отвердителей и наполнителей, методов предварительной подготовки и обработки стружки, применения модифицированных и новых альтернативных связующих.

Одним из важных показателей, влияющих на прочность изготавливаемых плит, является геометрия используемой стружки [2]. Прочность плит максимально повышается при использовании стружки длиной 40–60 мм, а при дальнейшем увеличении длины падает. Но возникает проблема осмоления частиц такой длины, в связи с чем их, как правило, не используют, поэтому многие авторы отдают предпочтение стружкам длиной 20–40 мм [3, 4]. По данным американских исследований, при длине стружки 40 мм прочность плит наилучшая [5]. Также на физико-механические характеристики древесных плит большое влияние оказывает толщина стружки. С уменьшением толщины стружки увеличивается прочность плит, поскольку стружка становится эластичнее, увеличивается площадь контакта древесных частиц друг с другом, следовательно, и площадь склеивания, растёт число клеевых слоёв в единице объёма, что приводит к повышению прочности плит и уменьшению удельного расхода связующего на единицу поверхности [6]. Предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти возрастает при увеличении толщины частиц и достигает максимума при толщине 0,7–0,75 мм.

Дальнейшее увеличение толщины частиц приводит к снижению прочности. Наилучшие значения предела прочности при статическом изгибе обеспечивают относительно тонкие плоские стружки, толщиной от 0,076 до 0,102 мм [5].

Один из важнейших факторов, влияющих на прочность древесно-стружечных плит, по мнению многих исследователей, – порода древесины [7, 8]. При одинаковом содержании связующего плиты из хвойных и мягких лиственных пород примерно на 20 % прочнее плит из древесины берёзы. Это объясняется тем, что в единице объёма материала плиты получается больше клеевых слоёв, которые улучшают и упрочняют её структуру. Основной фактор породы – это её плотность, которая определяет и плотность готовой древесно-стружечной плиты и, следовательно, её прочность. С увеличением плотности плит достигается более плотная укладка древесных частиц, уменьшается доля пустот между ними, увеличивается площадь контакта между частицами и число точечных клеевых связей, в результате чего прочность плит резко повышается, водопоглощение уменьшается, а разбухание по толщине увеличивается [9]. Следствием повышения плотности плит выступает повышение степени контактирования частиц, а вместе с этим растут абсолютные значения предела прочности при статическом изгибе и при отрыве перпендикулярно к пласти плиты. Чем выше плотность, тем выше степень контактирования древесных частиц между собой.

Другим важным фактором для повышения прочности древесных плит является ориентация древесных частиц. Ориентируются обычно только древесные частицы наружных слоёв в каком-либо одном направлении при сохранении хаотичного расположения частиц внутреннего слоя [10], предел прочности плит при статическом изгибе вдоль направления ориентации увеличивается примерно на 50 %. Ориентация древесных частиц способствует образованию каналообразных и

петлеобразных пор, которые определяют фильтрацию газов в капиллярно-пористых телах. При этом значительно снижается внутреннее давление парогазовой смеси в прессуемом пакете.

На физико-механические свойства плит оказывает влияние качество осмоления (эффект распыления связующего) [11, 12]. Максимальную прочность при прочих равных условиях имеют плиты при распыливании связующего на капли, средний диаметр эллипсоидов вращения которых составляет 8–35 мкм. Увеличение угла конусности факела распыления также способствует повышению прочности плит вследствие более равномерного распределения связующего по древесным частицам [13].

Формирование стружечного ковра – одна из важнейших операций в технологическом процессе производства древесно-стружечных плит. От качества формирования стружечного ковра зависит плотность, колебания её по площади плиты, прочность и стабильность её по площади, равномерность толщины, упрессовка плит по толщине при последующем их облицовывании, коробление плит [9]. Для обеспечения равномерной плотности по длине ковров необходимо выполнение трёх основных условий: постоянной по массе производительности транспортёра питателя; непрерывного и равномерного сбрасывания стружки с транспортёра питателя; разрыхления стружки и рассеивания её по длине формируемого ковра [14]. Повышению прочностных показателей (и в первую очередь предела прочности при статическом изгибе на 15 %) способствует наличие фракционирования древесных частиц на стадии формирования стружечного ковра [15].

Одним из важнейших факторов, влияющих на свойства древесных плит, является процесс прессования. Исследования в лабораторных условиях показали, что при использовании синтетических связующих повышение температуры прессования со 180 до 220 °С оказывает благоприятное влияние на повышение прочности плит

при статическом изгибе. Наибольшая интенсивность роста степени контактности частиц наполнителя наблюдается при изменении давления и температуры прессования в пределах 0,5–1,5 МПа и до 135 °С соответственно. При этом время выдержки в прессе существенно не влияет на степень контактирования. Наибольшая скорость роста механической прочности древесно-стружечных плит наблюдается в том случае, когда изменение степени контактности происходит за счёт увеличения давления прессования [16].

Прочность склеивания частиц наполнителя в структуре древесно-стружечной плиты зависит от величины отрицательного воздействия на клеевой шов суммарного разрывающего усилия от упругости при изменении формы древесных частиц и давления парогазовой смеси внутри пакета. Для ослабления этого воздействия на прочность склеивания необходимы меры по переводу упругих деформаций древесины в остаточные [17], а также меры по снижению и регулированию внутреннего давления парогазовой смеси в пакете. Весьма эффективно использование «парового удара» с целью уменьшения упругих напряжений при прессовании плит [18]. Благодаря использованию «парового удара» увеличивается поверхностная прочность плит, ускоряется процесс полимеризации смолы и улучшаются физико-механические свойства плит.

Для повышения адгезионной прочности склеивания частиц наполнителя, а следовательно, для повышения физико-механических свойств плит возможно использование новых отвердителей и наполнителей для связующих. В качестве эффективного отвердителя могут использоваться отходы сланцевых производств (продукты переработки лапоритовых концентратов серноокислотным методом) [19]. В качестве отвердителя может использоваться технический гомосерин в количестве 0,5–4 масс.ч. на 100 масс. ч. смолы. При этом прочностные характеристики плит увеличиваются до 10–25 %, а также

снижается токсичность за счёт более полного отверждения связующего.

Для повышения физико-механических характеристик плит возможно введение наполнителя, в качестве которого используется технический аэросил [20], использование которого способствует увеличению прочностных характеристик до 40–60 %. Введение технического аэросила способствует снижению pH смолы, ускорению процесса отверждения связующего, углублению реакции поликонденсации, повышению однородности клея, что способствует улучшению прочности и снижению времени прессования плит.

Весьма эффективно использование в качестве активных наполнителей клеевых составов на основе синтетических смол наносиликатов и алюмосиликатов, введение которых изменяет реакционную способность и структуру отверждённого связующего, позволяет повысить прочность и водостойкость клеевого соединения в результате изменения пространственной структуры отверждённого полимера, значимо снизить токсичность готовой продукции [21].

Известны способы предварительной обработки стружки веществами различного химического состава. Древесная стружка обрабатывается сначала лигносульфонатами, после чего осуществляется её выдержка, а затем обработка термореактивной смолой [22], при этом прочностные показатели плит возрастают до 60 %.

Известны различные способы комплексного повышения свойств древесных плит путём модифицирования связующего, используемого при их производстве. Существует способ модификации карбамидоформальдегидных смол, при котором в качестве модифицирующей добавки используется поливинилацетатная дисперсия, пластифицированная смесью полифункциональных соединений, включающих кислородсодержащие циклы, гидроксильные и эфирные группы [23, 24]. В результате модификации предел прочности плит при статическом изгибе повыша-

ется до 10 %, разбухание снижается до 12 %, содержание свободного формальдегида снижается до 30 %.

В клеевом составе часть карбамидоформальдегидной смолы может заменяться параформом [25], в результате такого совмещения предел прочности плит при статическом изгибе и при растяжении перпендикулярно к пласти возрастает до двух раз и более, разбухание по толщине снижается на 20–25 %, содержание свободного формальдегида снижается более чем в 3–4 раза. Модификация синтетических смол олигомерами фуранового ряда также способствует комплексному повышению основных физико-механических характеристик плит [26, 27].

Физико-механические свойства плит значительно повышаются при модификации карбамидоформальдегидных смол кубовым остатком со стадии регенерации трихлорэтилена производства капролактама. В результате модификации предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты повышается до 35 % [28]. При модификации карбамидоформальдегидных смол лигносульфонатами и солями меди с отвердителем персульфатом аммония сильно повышаются физико-механические характеристики готовых плит: предел прочности при статическом изгибе – на 29 %, предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты – на 7 %, разбухание снижается более чем в два раза [29].

Известны способы повышения физико-механических свойств плит путём модификации карбамидоформальдегидных смол в процессе синтеза аминами, и, в частности, этилендиамином. В результате данной модификации предел прочности при статическом изгибе повышается на 32 %, водопоглощение и разбухание по толщине снижаются соответственно на 20 и 8 % [30]. В качестве модификатора карбамидоформальдегидной смолы можно использовать бутадиенстирольный метакрилатный латекс. Благодаря такой модификации предел прочности при растя-

жении перпендикулярно к пласти повышается в два раза, предел прочности при статическом изгибе повышается на 15 %, водостойкость – на 30–40 %, содержание свободного формальдегида снижается в 2–2,5 раза [31]. Для модификации карбамидоформальдегидных смол можно использовать также отходы производства капролактама – кубового остатка регенерации трихлорэтилена. В результате такого способа прочность плит увеличивается в 1,5 раза, в несколько раз снижается содержание свободного формальдегида [32]. При модификации карбамидоформальдегидной смолы поливиниловым спиртом и аминоэпоксидами предел прочности при статическом изгибе и при растяжении перпендикулярно к пласти плиты повышается на 30 и 95 % соответственно, разбухание снижается на 20 % [33].

Известен способ модифицирования фенолформальдегидной смолы смесью резорциномеламинаформальдегидной смолы и водного раствора двуххромовокислого натрия и карбамида. В результате этого предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты повышается в 1,5 раза, значительно улучшается водостойкость плит [34]. Существует способ модификации, заключающийся в использовании модифицирующей добавки на основе нейтрализованного едким натром раствора лигносульфоната с добавлением уротропина и хлористого аммония. При использовании в клеевом составе такой добавки прочность плит повышается до 30 %, разбухание по толщине снижается на 35 % [35].

Весьма значимо использование новых нетрадиционных связующих. В качестве альтернативного связующего может быть использован полиэтилен и полипропилен [36]. Известно изобретение, согласно которому на древесные частицы может наноситься пенополиуретановое связующее, включающее смесь простых полиэфиров – оксипропилированного триола и тетраоксипропилендиамин, стабилизатор пены – сополимер полиорганосилоксана и полиоксисилоксана, вспенивающий агент –

фреон, в качестве катализатора отверждения применяется *n*-аминобензолсульфид, дифенилметандиизоцианат [37]. По данному способу прочностные характеристики плит в зависимости от содержания пенополиуретанового связующего повышаются в два раза и более, значимо снижается разбухание и водопоглощение.

Для повышения водостойкости древесных плит в качестве связующего может быть использована диановая смола, представляющая собой продукт конденсации дифенилолпропана, формальдегида и гидроксида натрия в присутствии буры [38]. Водостойкость при этом увеличивается более чем в два раза.

В качестве эффективного альтернативного связующего может использоваться фурфуrolацетоновый мономер ФА, традиционно применяющийся в производстве полимербетонов. При использовании его в качестве связующего значительно повышается прочность и водостойкость готовых плит (плиты выдерживают длительное кипячение), отсутствует свободный формальдегид [39].

В последние годы ведутся активные разработки и внедряются в промышленность смолы на основе карданола (фенола природного происхождения). Анализ лабораторных и промышленных испытаний показал, что резольные и новолачные карданолформальдегидные смолы позволяют значимо повысить физико-механические и экологические показатели плит за счёт ускорения реакции поликонденсации и более полного связывания компонентов связующего, а также повысить экономическую эффективность плитного производства [40]. Данные смолы в ближайшей перспективе должны заменить фенолформальдегидные.

Выводы. На основании аналитического и патентного обзора проанализированы основные способы повышения физико-механических свойств древесных плит. Выявлено, что на повышение физико-механических свойств плит значительно влияет геометрия стружки, порода древесины, ориентация древесных частиц, применение

гидрофобных добавок, технологические особенности процесса горячего прессования и методы регулирования технологических режимов, использование новых отвердителей и наполнителей, методы предварительной подготовки и обработки стружки.

Наиболее значимо повысить физико-механические свойства плит возможно за счёт применения модифицированных или новых альтернативных связующих, обладающих большей реакционной способно-

стью. Древесно-стружечные плиты, изготовленные с применением альтернативных связующих, обладают повышенной прочностью, водостойкостью, существенно меньшим содержанием свободных токсичных веществ, что позволяет их эффективно использовать в строительстве, в том числе в условиях с переменными температурно-влажностными условиями, производстве мебели, авто-, вагоно-, контейнеростроении и в иных сферах.

Список литературы

1. *Беляев, А.* Тенденции. Нереализованный потенциал / А. Беляев // Лесная индустрия. – 2012. – № 5. – С. 6-10.
2. *Поздняков, А.А.* Прочность и упругость композиционных древесных материалов / А.А. Поздняков. – М.: Лесная промышленность, 1988. – 136 с.
3. *Грибенчикова, А.В.* Материаловедение в производстве древесных плит и пластиков / А.В. Грибенчикова. – М.: Лесная промышленность, 1988. – 120 с.
4. *Модлин, Б.Д.* Изготовление стружки для древесно-стружечных плит / Б.Д. Модлин, А.А. Хатилович. – М.: Лесная промышленность, 1988. – 152 с.
5. *Мелони, Т.* Современное производство древесно-стружечных и древесно-волоконистых плит / Т. Мелони. Пер. с англ. В.В. Амалицкого и Е.И. Карасева. – М.: Лесная промышленность, 1982. – 416 с.
6. *Грибенчикова, А.В.* Материаловедение в производстве древесных плит и пластиков / А.В. Грибенчикова. – М.: Лесная промышленность, 1988. – 120 с.
7. *Киселева, О.А.* О сроке службы древесно-стружечных плит / О.А. Киселева, В.П. Ярцев // Жилищное строительство. – 2003. – № 10. – С. 24-25.
8. *Шварцман, Г.М.* Производство древесно-стружечных плит / Г.М. Шварцман. – М.: Лесная промышленность, 1977. – 317 с.
9. *Отлев, И.А.* Интенсификация производства древесно-стружечных плит / И.А. Отлев. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 192 с.
10. *Шварцман, Г.М.* Фракционирование и ориентация древесных частиц при формировании стружечного ковра / Г.М. Шварцман, М.Ш. Пильцер, Г.С. Черкасов. – М.: ВНИПИЭИлеспром, 1972. – 31 с.
11. *Азаров, В.И.* Влияние модификаторов на технологические параметры модифицированных карбамидоформальдегидных олигомеров / В.И. Азаров, Г.Н. Кононов, А.Н. Веревкин, В.С. Дроздова // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2009. – № 2. – С. 129-132.
12. *Баженов, В.А.* Технология и оборудование производства древесных плит и пластиков / В.А. Баженов, Е.И. Карасев, Е.Д. Мерсов. – М.: Экология, 1992. – 416 с.
13. *Шедро, Д.А.* Распыливание связующего в производстве древесно-стружечных плит: обзор / Д.А. Шедро, А.А. Веселов. – М.: ВНИПИЭИлеспром, 1971. – 52 с.
14. *Векслер, А.К.* Повышение равномерности формирования стружечных ковров / А.К. Векслер, Л.В. Роднянская. – М.: ВНИПИЭИлеспром, 1975. – 40 с.
15. *Плотников, С.М.* Совершенствование процессов формирования и прессования древесно-стружечных плит: монография / С.М. Плотников. – Красноярск: СибГТУ, 2007. – 177 с.
16. *Куликов, В.А.* Влияние основных технологических факторов на степень контактности древесных частиц при склеивании древесно-стружечных плит / В.А. Куликов, З.Я. Шестакова, Л.В. Пинтус. – Л.: ЛТА им. С.М. Кирова, 1969. – 8 с.
17. *Савицкий, А.С.* Исследование процесса прессования древесных плит на термопластичном связующем / А.С. Савицкий, И.В. Сапожников, А.А. Шевляков // Научные труды МГУЛ. – 1997. – Вып. 287. – С. 11-18.
18. *Соснин, М.И.* Физические основы прессования древесно-стружечных плит / М.И. Соснин, М.И. Климова. – Новосибирск: Наука, 1981. – 190 с.
19. А. с. 1819769 СССР, В27N3/02. Способ изготовления древесно-стружечных плит / В.М. Сацура, Н.Н. Цыбулько, В.В. Богданова, В.И. Сушко: заявитель и патентообладатель Белорусский технологический институт им. С.М. Кирова и Научно-исследовательский институт физико-химических проблем Белорусского государственного университета им. В.И. Ленина. – № 1232479; заявл. 08.01.1990; опубл. 07.06.1993. Бюл. № 21. – 2 с.

20. А. с. 1771968 СССР, В27N3/02. Способ изготовления древесно-стружечных плит / И.Т. Матюшин, Ф.И. Долгих, В.В. Перепелкин, В.М. Мингазутдинов, С.А. Агибалов: заявитель и патентообладатель Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт промышленности древесных плит. – № 4887841/154; заявл. 06.12.1990; опубл. 30.10.1992. Бюл. № 40. – 4 с.
21. *Варанкина, Г.С.* Формирование низкотоксичных клееных древесных материалов: монография / Г.С. Варанкина, А.Н. Чубинский. – СПб.: СПбГЛТУ, 2014. – 148 с.
22. А. с. 1386464 СССР, В27N3/02. Способ изготовления древесно-стружечных плит / В.Б. Снопков, Т.В. Сухая, И.А. Хмызов, Е.И. Пухальский, К.А. Панушкин, В.Н. Шайтура, Р.Н. Зарецкая : заявитель и патентообладатель Белорусский технологический институт им. С.М. Кирова. – № 4128750/29-15; заявл. 17.07.1986; опубл. 07.04.1988. Бюл. № 13. – 2 с.
23. *Карпова, Т.Н.* Древесно-стружечные плиты на модифицированном карбамидоформальдегидном связующем / Т.Н. Карпова // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2011. – № 5. – С. 138-141.
24. *Угрюмов, С.А.* Исследование модификации фенолформальдегидного олигомера поливинилацетатной дисперсией применительно к производству кистропит / С.А. Угрюмов, В.Е. Цветков // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2008. – № 4. – С. 107-109.
25. *Цветков, В.Е.* Исследование процессов химической деструкции параформа при синтезе карбамидоформальдегидных олигомеров / В.Е. Цветков, О.П. Мачнева // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2007. – № 6. – С. 106-113.
26. *Федотов, А.А.* Исследование влияния фенолформальдегидных связующих, модифицированных фурановым олигомером, на свойства древесно-стружечных плит / А.А. Федотов, С.А. Угрюмов // Вестник МГУЛ – Лесной Вестник. – 2014. – № 2(101). – С. 122-127.
27. *Осетров, А.В.* Применение клеевых композиций на основе фенолформальдегидного олигомера, модифицированного фурановым, в производстве древесных плит / А.В. Осетров, С.А. Угрюмов, А.А. Федотов // Энциклопедия инженера-химика. – 2014. – № 6. – С. 24-27.
28. *Тришин, С.П.* Термомеханические исследования модифицированных карбамидоформальдегидных полимеров / С.П. Тришин, В.Е. Цветков // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 1984. – № 5. – С. 83-86.
29. *Эльберт, А.А.* Применение лигносульфонатов в производстве древесно-стружечных плит повышенной водостойкости / А.А. Эльберт, Л.П. Коврижных, И.Ф. Козловский // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 1991. – № 4. – С. 77-81.
30. *Балакин, В.М.* Карбамидоаминоформальдегидные смолы для производства древесно-стружечных плит / В.М. Балакин, А.В. Торицин, Н.Л. Тимошенко // Деревообрабатывающая промышленность. – 1998. – № 4. – С. 21-23.
31. *Глазков, С.С.* Модификация карбамидоформальдегидных смол латексами / С.С. Глазков, В.С. Болдырев // Деревообрабатывающая промышленность. – 1997. – № 4. – С. 15-18.
32. *Цветков, В.Е.* Опыт применения смол, модифицированных отходами производства капролактама / В.Е. Цветков, С.А. Рыженкова, С.П. Тришин и др. // Деревообрабатывающая промышленность. – 1983. – № 9. – С. 4-5.
33. *Цветков, В.Е.* Модифицирование карбамидных смол / В.Е. Цветков, В.И. Азаров, В.П. Лосев и др. // Пластические массы. – 1972. – № 9. – С. 7-8.
34. *Кондратьев, В.П.* Синтетические клеи для древесных материалов / В.П. Кондратьев, В.И. Кондращенко. – М.: Мир, 2004. – 520 с.
35. *Эльберт, А.А.* Совмещенное связующее на основе фенолформальдегидной смолы и лигносульфонатов для древесных плит / А.А. Эльберт, Л.П. Коврижных, В.В. Васильев // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 1985. – № 3. – С. 75-79.
36. Пат. 1826939 СССР, В27N3/02. Способ производства древесных плит / М.А. Терпугов, Ю.А. Семочкин, А.Л. Липин: заявитель и патентообладатель Терпугов М.А. – № 1232586; заявл. 14.05.1991; опубл. 07.07.1993. Бюл. № 25. – 4 с.
37. Пат. 2016760 РФ, В27N3/02. Способ изготовления древесно-стружечных плит / В.М. Сацура, Н.Н. Цыбулько, А.В. Сацура: заявитель и патентообладатель Белорусский технологический институт им. С.М. Кирова. – № 5034703/15; заявл. 22.07.1991; опубл. 30.07.1994. Бюл. № 14. – 4 с.
38. Пат. 2165441 РФ, МПК⁷ C08L97/02, 63/02, C09K21/14, В27N3/04, C08K5/01. Пресс-композиция для производства трудногорючих плитных материалов / В.И. Кондращенко, Б.Д. Фейло, В.П. Кондратьев, Н.Е. Николаев: заявитель и патентообладатель Кондращенко В.И. – № 2000115034/04; заявл. 15.06.2000; опубл. 20.04.2001. Бюл. № 23. – 5 с.
39. *Угрюмов, С.А.* Оценка влияния технологических факторов на свойства древесно-стружечных плит на основе фурановой смолы / С.А. Угрюмов, А.А. Федотов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2012. – № 2(16). – С. 36-42.
40. *Шишлов, О.Ф.* Изучение влияния содержания карданола на свойства фенолкарданолформальдегидных смол / О.Ф. Шишлов, С.А. Дожди-ков, В.В. Глухих, О.В. Стоянов // Клеи. Герметики. Технологии. – 2013. – №5. – С. 15-18.

Статья поступила в редакцию 20.01.15.

Информация об авторах

УГРЬЮМОВ Сергей Алексеевич – доктор технических наук, профессор кафедры лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств, Костромской государственной технологической университет. Область научных интересов – техника и технологии производства синтетических олигомеров, клееных древесных материалов. Автор 300 научно-методических работ. E-mail: ugr-s@yandex.ru

ФЕДОТОВ Александр Андреевич – кандидат технических наук, доцент кафедры лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств, Костромской государственной технологической университет. Область научных интересов – технологические процессы производства клееных древесных материалов. Автор 54 научно-методических работ. E-mail: aafedotoff@yandex.ru

ОСЕТРОВ Андрей Валентинович – аспирант кафедры лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств, Костромской государственной технологической университет. Область научных интересов – технологические процессы производства древесных плит и пластиков. Автор 14 публикаций. E-mail: sallmon@mail.ru

UDK 674.8-036.61.8

COMPREHENSIVE METHODS FOR IMPROVEMENT OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PARTICLE BOARDS

S. A. Ugryumov, A. A. Fedotov, A. V. Osetrov

Kostroma State University of Technology,
17, Dzerzhinskogo St., Kostroma, 156005, Russian Federation
E-mail: ugr-s@yandex.ru

Key words: *particle boards; physical and mechanical properties; durability; water resistance; hydrophobic additives; hot pressing; curing; modification; alternative binder.*

ABSTRACT

Introduction. People use wood and wood composite materials in various fields since the ancient times. Growing consumption of wood and often irrational use of wood provoked much tension around the issue of low-grade wood and wood waste processing. Production of wood-based panels makes it possible to obtain a competitive structural material with a number of desirable properties and to complex use the wood and to recycle the wood waste. Production and consumption of wood-based panels in the coming years will inevitably increase, thus improving the physical and mechanical properties of particle boards will be given a special attention. **The objective** of the research is to make an analysis of the main ways to improve the physical and mechanical properties of particle boards. **Current tasks:** definition of the efficient and comprehensive ways to improve the properties of wood-based panels. **Known complex ways for improvement of physical and mechanical properties of the particle boards.** Physical and mechanical properties of wood-based panels depend on many factors. They are geometry of shavings, wood species, orientation of wood particles, usage of special additives, nature of the bonding of wood particles in the process of pressing and regulation of technological modes, use of new hardeners and fillers, methods of preparation and processing of chips, application of modified and new alternative binders. From the view point of the dimensional parameters of filler particles, the strength of the plates is maximum increasing when using long, thin and soft shavings. The phenomenon is explained by the increase of the area of contact of wood particles with each other and the number of adhesive layers. From the point of view of the quality of the bonded layer formation, it is fractionation occurrence of wood particles at the stage of the bonded layer formation which improves the strength characteristics. The properties of plates largely depend on the modes of hot pressing, thus increase in temperature and time compression contribute to increase of the strength of the boards. It is possible to improve the properties of the boards by means of the increase of the intensity of heating of the chip mat (method of "steam flow"). To improve the adhesion strength of bonding particles of filler, and, consequently, to improve physical and mechanical properties of boards, it is possible to use the new hardeners and fillers for binding and to process the fillers with the chemically active compounds. It is very effective to improve the properties of wood-based panels by modifying the binder used in production, and use of new alternative binders with the improved adhesive properties capable of forming durable and water-resistant adhesive bonding. **Conclusion.** Physical and mechanical properties of boards is possible to be improved through the use of modified or new alternative binder with better reactivity.

REFERENCES

1. Belyaev A. Tendentsii. Nerealizovannyi potentsial [Trends. Spare Capacity]. *Lesnaya industriya* [Forest Industry]. 2012. № 5. Pp. 6-10.
2. Pozdnyakov A.A. *Prochnost i uprugost kompozitsionnykh drevesnykh materialov* [Strength and Resilience of Composite Wood Materials]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1988. 136 p.
3. Gribenchikova A.V. *Materialovedenie v proizvodstve drevesnykh plit i plastikov* [Material Science in Production of Chipboards and Plastics]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1988. 120 p.
4. Modlin B.D., Khatilovich A.A. *Izgotovlenie struzhki dlya drevesno-struzhechnykh plit* [Chippings Production for Chipboards]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1988. 152 p.
5. Meloni T. *Sovremennoe proizvodstvo drevesno-struzhechnykh i drevesno-voлокнистых plit. Per. s angl. V.V. Amalitskogo i E.I. Karaseva.* [Production of Chipboards and Fibreboards Today. Translated from English by V.V. Amalitskiy and E.I. Karasev]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1982. 416 p.
6. Gribenchikova A.V. *Materialovedenie v proizvodstve drevesnykh plit i plastikov* [Material Science in Production of Chipboards and Plastics]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1988. 120 p.
7. Kiseleva O.A., Yartsev V.P. O sroke sluzhby drevesno-struzhechnykh plit [On the Durability of Chipboards]. *Zhilishchnoe stroitelstvo* [House Building.]. 2003. №10. P. 24-25.
8. Shvartsman G.M. *Proizvodstvo drevesno-struzhechnykh plit* [Chip Boards Production]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1977. 317 p.
9. Otlev I.A. *Intensifikatsiya proizvodstva drevesno-struzhechnykh plit* [Intensification of Chip Boards Production]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1989. 192 p.
10. Shvartsman G.M., Piltser M.Sh., Cherkasov G.S. *Fraksionirovanie i orientatsiya drevesnykh chastits pri formirovanii struzhechnogo kovra* [Separation and Wood Particles Orientation in Formation of the Mat]. Moscow: VNIPIEIllesprom, 1972. 31 p.
11. Azarov V.I., Kononov G.N., Verevkin A.N., Drozdova V.S. Vliyanie modifikatorov na tekhnologicheskie parametry modifitsirovannykh karbamidoformaldegidnykh oligomerov [Modifiers Influence on the Technological Parameters of the Modified Carbamide-Formaldehyde Oligomers]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Vestnik of Moscow State Forest University – Forest Vestnik.]. 2009. № 2. Pp. 129-132.
12. Bazhenov V.A., Karasev E.I., Mersov E.D. *Tekhnologiya i oborudovanie proizvodstva drevesnykh plit i plastikov* [Production Technology and Equipment for the Chipboards and Plastics]. Moscow: Ekologiya, 1992. 416 p.
13. Shedro D.A., Veselov A.A. *Raspylivanie svyazuyushchego v proizvodstve drevesno-struzhechnykh plit: obzor* [Resin Spaying in Production of Chipboards: review]. Moscow: VNIPIEIllesprom, 1971. 52 p.
14. Veksler A.K., Rodnyanskaya L.V. *Povyshenie ravnomernosti formirovaniya struzhechnykh kovrov* [Improvement of the Particle Spreading Equability]. Moscow: VNIPIEIllesprom, 1975. 40 p.
15. Plotnikov S.M. *Sovershenstvovanie protsessov formirovaniya i pressovaniya drevesno-struzhechnykh plit: monografiya* [Improvement of the Processes for Formation and Pressing of Chipboards: monograph]. Krasnoyarsk: SibGTU, 2007. 177 p.
16. Kulikov V.A., Shestakova Z.Ya., Pintus L.V. *Vliyanie osnovnykh tekhnologicheskikh faktorov na stepen kontaktности drevesnykh chastits pri skleivanii drevesno-struzhechnykh plit* [Influence of the Basic Technological Factors on the Contact Level of Wood Particles in Chipboards Gluing]. Leningrad: Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M.Kirov, 1969. 8 p.
17. Savitskiy A.S., Sapozhnikov I.V., Shevlyakov A.A. *Issledovanie protsessa pressovaniya drevesnykh plit na termoplastichnom svyazuyushchem* [Study of the Process for Formation and Pressing of Chipboards based on the Thermofluid Vehicle]. *Nauchnye trudy MGUL* [Scientific Papers of Moscow State Forest University]. 1997. Issue. 287. Pp. 11-18.
18. Sosnin M.I., Klimova M.I. *Fizicheskie osnovy pressovaniya drevesno-struzhechnykh plit* [Physics of Chipboards Pressing]. Novosibirsk: Nauka, 1981. 190 p.
19. Satsura V.M., Tsybulko N.N., Bogdanova V.V., Sushko V.I. *Sposob izgotovleniya drevesno-struzhechnykh plit* [A Way to Manufacture Chipboards]. USSR invention certificate, no 1819769, 1993.
20. Matyushin I.T., Dolgikh F.I., Perepelkin V.V., Mingazutdinov V.M., Agibalov S.A. *Sposob izgotovleniya drevesno-struzhechnykh plit* [A Way to Manufacture Chipboards]. USSR invention certificate, no 1771968, 1992.
21. Varankina G.S., Chubinskiy A.N. *Formirovanie nizkotoksichnykh kleennykh drevesnykh materialov: monografiya* [Production of Low-Toxic Bound Wood Materials: monograph]. Saint-Petersburg: Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov, 2014. 148 p.
22. Snopkov V.B., Sukhaya T.V., Khmyzov I.A., Pukhalskiy E.I., Panushkin K.A., Shaytura V.N., Zaretskaya R.N. *Sposob izgotovleniya drevesno-struzhechnykh plit* [A Way to Manufacture Chipboards]. USSR invention certificate, no 13864642, 1988.
23. Karpova T.N. *Drevesno-struzhechnye plity na modifitsirovannom karbamidoformaldegidnom*

svyazuyushchem [Chipboards on the Basis of the Modified Carbamide-Formaldehyde Bonding]. *Vestnik MGUL – Lesnoy vestnik* [Vestnik of Moscow State University of Forestry – Forest Vestnik]. 2011. № 5. Pp. 138-141.

24. Ugryumov S.A., Tsvetkov V.E. Issledovanie modifikatsii fenolformaldegidnogo oligomera polivinilatsetatnoy dispersiei primenitelno k proizvodstvu kostroplit. [Study of the Modification of Phenolformaldehyde Oligomer with the Polyvinyl Acetate Dispersion for the Boards Production]. *Vestnik MGUL – Lesnoy vestnik* [Vestnik of Moscow State University of Forestry – Forest Vestnik]. 2008. № 4. Pp. 107-109.

25. Tsvetkov V.E., Machneva O.P. Issledovanie protsessov khimicheskoy destrukttsii paraforma pri sinteze karbamidoformaldegidnykh oligomerov [Study of the Processes Chemical Destruction Paraform in the Sythesis of Carbamide-Formaldehyde Oligomers]. *Vestnik MGUL – Lesnoy vestnik* [Vestnik of Moscow State University of Forestry – Forest Vestnik]. 2007. № 6. Pp. 106-113.

26. Fedotov A.A., Ugryumov S.A. Issledovanie vliyaniya fenolformaldegidnykh svyazuyushchikh, modifitsirovannykh furanovym oligomerom, na svoystva drevesno-struzhechnykh plit [Study of the Influence of Phenolformaldehyde Binders, Modified with the Furan Oligomer on the Properties of Chipboards]. *Vestnik MGUL – Lesnoy vestnik* [Vestnik of Moscow State University of Forestry – Forest Vestnik]. 2014. № 2(101). Pp. 122-127.

27. Osetrov A.V., Ugryumov S.A., Fedotov A.A. Primenenie kleevykh kompozitsiy na osnove fenolformaldegidnogo oligomera, modifitsirovannogo furanovym, v proizvodstve drevesnykh plit [Use of Adhesive Compositions on the Basis of Phenolformaldehyde Oligomer, Modified with the Furan Oligomer in Production of Wood Boards]. *Entsiklopediya inzhenera-khimika* [Encyclopedia of a Chemical Engineer]. 2014. № 6. Pp. 24-27.

28. Trishin S.P., Tsvetkov V.E. Termomekhanicheskie issledovaniya modifitsirovannykh karbamidoformaldegidnykh polimerov [Thermomechanical Studies of the Modified Urea-Formaldehyde Resins]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [News of Higher Educational Institutions. Forest Journal]. 1984. № 5. Pp. 83-86.

29. Elbert A.A., Kovrizhnykh L.P., Kozlovskiy I.F. Primenenie lignosulfonatov v proizvodstve drevesno-struzhechnykh plit povyshennoy vodostoykosti [Use of Lignosulfonates in Manufacturing of the Chipboards with the Increased Water Resistance]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [News of Higher Educational Institutions. Forest Journal]. 1991. № 4. Pp. 77-81.

30. Balakin V.M., Toritsin A.V., Timoshenko N.L. Karbamidoaminoformaldegidnye smoly dlya

proizvodstva drevesno-struzhechnykh plit [Karbamidoaminoformaldehyde Resin to Manufacture Chipboards]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost* [Wood-Working Industry]. 1998. № 4. Pp. 21-23.

31. Glazkov S.S., Boldyrev V.S. Modifikatsiya karbamidoformaldegidnykh smol lateksami [Modification of the Amino-Formaldehyde Resin with the Latex]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost* [Wood-Working Industry]. 1997. № 4. Pp. 15-18.

32. Tsvetkov V.E., Ryzhenkova S.A., Trishin S.P., et al. Opyt primeneniya smol, modifitsirovannykh otkhodami proizvodstva kaprolaktama [An Experience of Use of the Resin, Modified with the Waste of Caprolactam Manufacture]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost* [Wood-Working Industry]. 1983. № 9. Pp. 4-5.

33. Tsvetkov V.E., Azarov V.I., Losev V.P., et al. Modifitsirovanie karbamidnykh smol [Modifying of the Carbamide Resins]. *Plasticheskie massy* [Plastic Material]. 1972. № 9. Pp. 7-8.

34. Kondratev V.P., Kondrashchenko V.I. *Sinteticheskie klei dlya drevesnykh materialov* [Synthetic Resin Adhesive for Woody Materials]. Moscow: Mir, 2004. 520 p.

35. Elbert A.A., Kovrizhnykh L.P., Vasilev V.V. Sovmeshchennoe svyazuyushchee na osnove fenolformaldegidnoy smoly i lignosulfonatov dlya drevesnykh plit [The superimposed Binder on the Basis of Phenolformaldehyde Resin and Lignosulfonate for Wood Boards]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [News of Higher Educational Institutions. Forest Journal]. 1985. № 3. Pp. 75-79.

36. Terpugov M.A., Semochkin Yu.A., Lipin A.L. Sposob proizvodstva drevesnykh plit [A Way to Manufacture Wood Boards]. Patent USSR, no 1826939, 1993.

37. Satsura V.M., Tsybulko N.N., Satsura A.V. Sposob izgotovleniya drevesno-struzhechnykh plit. [A Way to Manufacture Chipboards]. Patent RF, no 2016760, 1994.

38. Kondrashchenko V.I., Feylo B.D., Kondratev V.P., Nikolaev N.E. Press-kompozitsiya dlya proizvodstva trudnogoryuchikh plitnykh materialov [Molding Compound to Manufacture Low-Combustible Slabby Materials]. Patent RF, no 2165441, 2001.

39. Ugryumov S.A., Fedotov A.A. Otsenka vliyaniya tekhnologicheskikh faktorov na svoystva drevesno-struzhechnykh plit na osnove furanovoy smoly [Assessment of Influence of the Technological Factors on the Properties of the Chipboards Made on the Basis of Furan Resin]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.]. 2012. № 2(16). Pp. 36-42.

40. Shishlov O.F., Dozhdikov S.A., Glukhikh V.V., Stoyanov O.V. Izuchenie vliyaniya sodержaniya kardanola na svoystva fenolkardanol-formaldegidnykh smol [Study of the Influence of Car-danol Content on the Properties of Fenolkardanol-formaldehyde Resins]. *Klei. Germetiki. Tekhnologii.* [Glues. Hermetics. Technologies.]. 2013. №5. Pp. 15-18.

The article was received 20.01.15.

Citation for an article: Ugryumov S. A., Fedotov A. A., Osetrov A. V. Comprehensive methods for improvement of physical and me-chanical properties of particle boards. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2015. No 1 (25). Pp. 34-44.

Information about the authors

UGRYUMOV Sergey Alexeyevich – Doctor of Engineering Sciences, Professor at the Chair of Timber Cutting and Wood Processing Industries, Kostroma State University of Technology. Research interests – techniques and technologies of production of synthetical oligomers, bounded wood products. The author of 300 research papers. E-mail: ugr-s@yandex.ru

FEDOTOV Alexander Andreyevich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor at the Chair of Timber Cutting and Wood Processing Industries, Kostroma State University of Technology. Research interests – production process for bounded wood products. The author of 54 research papers. E-mail: aafedotoff@yandex.ru

OSETROV Andrey Valentinovich – Postgraduate student at the Chair of Timber Cutting and Wood Processing Industries, Kostroma State University of Technology. Research interests – production process of chipboards and plastic. The author of 14 research papers. E-mail: sallmon@mail.ru

УДК 630*378.33

МОДЕРНИЗИРОВАННЫЙ ПЛОТ ДЛЯ РЕК С МАЛЫМИ ГЛУБИНАМИ

В. В. Васильев

Областное казённое учреждение «Красногвардейское лесничество»,
Управление лесами Белгородской области,
Российская Федерация, 309920, Белгородская область, Бирюч, ул. Карла Маркса, 18
E-mail: vasiliev.vova2012@yandex.ru

Возобновление лесосплавных работ на малых и средних реках и увеличение объёма поставок древесины водным транспортом требует разработки специальных лесотранспортных единиц. Разработана конструкция плота, предназначенного для рек с малыми глубинами, основной особенностью которого является расположение в середине каждого поперечного ряда двух плоских сплотивных единиц стабилизированной плавучести, а по бокам – по одной сплотивной единице обычной конструкции. Рассмотрены количественные и качественные варианты расположения сплотивных единиц в поперечном ряду, где было установлено наиболее рациональное расположение плоских сплотивных единиц стабилизированной плавучестью. Построена математическая модель изменения осадки плота в зависимости от параметров качественного и количественного соотношения сплотивных единиц в поперечном ряду.

Ключевые слова: водный транспорт леса; лесосплавной ход; лесотранспортная единица; плот; поперечный ряд; плоская сплотивная единица стабилизированной плавучести; осадка.

Введение. Водный транспорт леса является одним из первых видов транспорта древесины в России и наиболее экономически выгодным, по сравнению с автомобильным и железнодорожным транспортом, где до принятия Водного кодекса Российской Федерации [1] и нормативно-правового акта СанПиН 2.1.5.980-00, он занимал одно из лидирующих мест по объёму поставки древесины лесоперерабатывающим предприятиям. После введения СанПиНа 2.1.5.980-00 (пункт 4.1.4. «Не допускается осуществлять молевой сплав леса, а также сплав древесины в пучках и кошелях без судовой тяги на водных объектах, используемых населением для питьевых, хозяйственно-бытовых и рекреационных целей») и принятия Водного кодекса РФ (статья 48 часть 2 «Сплав древесины без судовой тяги на водных объектах, используемых для

судоходства, и молевой сплав древесины на водных объектах запрещаются»), объём поставки древесины резко сократился по причине вывода из эксплуатации малых и средних рек, к которым тяготеет основная площадь спелых и перестойных лесных насаждений и на которых выполнялся ключевой объём молевого сплава древесины.

Для устранения сложившейся проблемы предложено [2–5] использовать плоские сплотивные единицы, которые обладают малой осадкой, большим запасом плавучести и коэффициентом полнотранспортируемости. Работы в данном направлении были выполнены в Воронежской государственной лесотехнической академии, где усовершенствованы плоские сплотивные единицы, и в частности получена плоская сплотивная единица со стабилизированным запасом плавучести [6],

© Васильев В. В., 2015.

Ссылка на статью: Васильев В. В. Модернизированный плот для рек с малыми глубинами // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 1 (25). – С. 45-58.

а также на основе данных плоских сплотовых единиц разработан плот, предназначенный для рек с малыми глубинами, основной особенностью которого является расположение плоских сплотовых единиц стабилизированной плавучести по середине поперечного ряда.

Проведённые теоретические исследования изменения осадки плота с расположенными посередине поперечного ряда двумя плоскими сплотовыми единицами стабилизированной плавучести и по одной сплотовой единице по бокам не позволяют рассмотреть полный спектр функциональных возможностей данного плота при использовании на реках с малыми глубинами, так как поперечный ряд плота может изготавливаться из большего или меньшего количества сплотовых единиц обычной конструкции и стабилизированной плавучести. Таким образом, возникает необходимость установления наиболее рационального количественного и качественного расположения сплотовых единиц, а также построения математической модели изменения осадки плота с течением времени, что позволит разрабатывать наиболее эффективные конструкции плотов.

Цель работы – модернизация плота, предназначенного для рек с малыми глубинами, путём разработки оптимальных вариантов расположения плоских сплотовых единиц в его поперечном ряду.

Задачи исследования – обосновать наиболее рациональное расположение плоских сплотовых единиц в поперечном ряду плота в зависимости от вида и транспортных характеристик лесосплавного пути; получить зависимость для расчёта осадки плота в зависимости от содержания в поперечном ряду плоских сплотовых единиц обычной конструкции и плоских сплотовых единиц стабилизированной плавучести.

Модернизация плота. Для повышения эффективности плотового сплава лесоматериалов по малым и средним рекам, характеризующимся лимитирующими габаритами лесосплавного хода, и для обес-

печения экологически безопасного проведения лесосплавных работ с сохранением качества поставляемой древесины, был разработан плот [7–11], который представлен на рис. 1.

Плот включает [8] расположенные поперечными рядами сплотовые единицы 1 и сплотовые единицы стабилизированной плавучести 2, установленные в середине каждого ряда и выполненные по патенту РФ № 2381949 [12] или в виде сплотовых единиц, изготовленных по патентам РФ № 2456200 [13], № 2460679 [14], № 2525498 [15], которые предварительно обёртываются в гибкий водонепроницаемый материал. Сплотовые единицы 1 и сплотовые единицы стабилизированной плавучести 2 в ряду соединены между собой брусстерами 3, закреплёнными к сплотовым единицам отдельными формировочными комплектами 5 с рычажными замками и цепными надставками. Сплотовые единицы 1 и сплотовые единицы стабилизированной плавучести 2 в головном и хвостовом рядах соединены между собой поперечными шпалами 6 (на рис. 1, б не показаны). Вдоль плота по крайним бортам сплотовых единиц 1 проложены бортовые лежни 7, которые прикреплены к брусстерам 3 крепёжными обвязками 8.

Формирование плота производится следующим образом. Изготавливаются сплотовые единицы 1 и сплотовые единицы стабилизированной плавучести 2, последние выполняются в соответствии с патентом РФ № 2381949 [12] или в виде сплотовых единиц, изготовленных по патентам РФ № 2456200 [13], № 2460679 [14], № 2525498 [15], которые предварительно обёртываются в гибкий водонепроницаемый материал. Готовые сплотовые единицы 1 и сплотовые единицы стабилизированной плавучести 2 спускают на воду и буксируют к месту формирования поперечных рядов: по одиночке или группами. Из сплотовых единиц 1 и сплотовых единиц стабилизированной плавучести 2 формируют поперечные ряды, причём

сплоточные единицы стабилизированной плавучести 2 размещают в середине ряда, а сплоточные единицы 1 – по краям ряда. Ряд, составленный из сплоточных единиц 1 и сплоточных единиц стабилизированной плавучести 2, объединяется брустверами 3. Брустверы 3 крепятся к сплоточным еди-

ницам отдельными формировочными комплектами 5 с рычажными замками и цепными надставками. Сформированные ряды буксируют за брустверы 3 до формировочных причалов, которые размещаются на магистральной реке, где габариты водного пути позволяют формировать плоты.

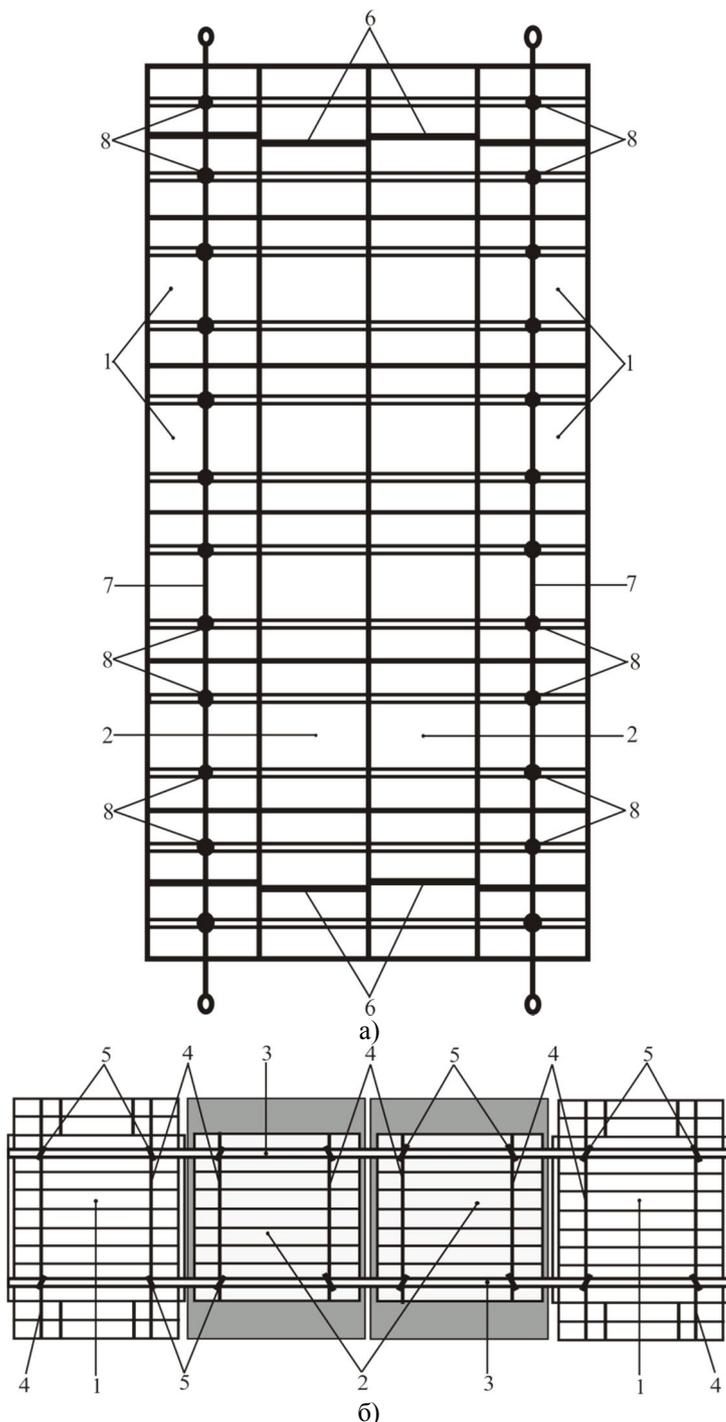


Рис. 1. Плот, включающий сплоточные единицы стабилизированной плавучести:
а – вид сверху; б – поперечный ряд (вид сверху)
(обозначения в рисунках здесь и далее – в тексте)

На формируемых причалах из рядов формируют плот путём плотной установки рядов друг к другу. На ряды, расположенные в голове и хвосте плота, накладывают поперечные счалы 6. После этого вдоль плота по крайним бортовым сплотовым единицам 1 прокладывают бортовые лежни 7, которые крепят к брускам крепёжными обвязками 8. Затем плот буксируется по водному пути к месту назначения. Размещение сплотовых единиц стабилизированной плавучести 2 в середине рядов позволяет обеспечить защиту гибкого водонепроницаемого материала, в который завернуты эти сплотовые единицы, от механических повреждений при буксировке плота.

В практических условиях поперечный ряд плота может состоять из меньшего и большего количества сплотовых единиц 1 и сплотовых единиц стабилизированной плавучести 2, с различной комбинацией их расположения в ряду. Рассмотрим более подробно оптимальное качественное и количественное расположение сплотовых единиц в ряду плота, в зависимости от вида лесосплавных путей.

На малых равнинных и полуравнинных реках использование рассматриваемого плота, из-за малых габаритов лесосплавного хода, практически невозможно, и сплав круглых лесоматериалов может осуществляться караваном в рядах. Если габариты лесосплавного хода имеют в весенне-летний период года большие размеры, то буксировка плота возможна, а поперечные

ряды могут состоять из двух или трёх сплотовых единиц, в зависимости от их габаритных показателей, а при длительном стоянии горизонта воды ряд может включать четыре сплотовые единицы.

При условии содержания в рядах плота сплотовых единиц 1 и сплотовых единиц стабилизированной плавучести 2, в совокупности не более двух, их комбинация по расположению имеет три варианта. Первый вариант, когда ряд состоит из одних сплотовых единиц 1 (см. рис. 2, а), но данный вариант нецелесообразен, так как плот будет иметь изначально большую осадку, что не позволит осуществить его буксировку. Второй вариант – ряд состоит из одной сплотовой единицы 1 и соответственно одной сплотовой единицы стабилизированной плавучести 2 (см. рис. 2, б). При такой комбинации плот будет иметь крен, в результате которого буксировка плота будет осложнена, с большой вероятностью посадки его на мель. Третий вариант – ряд состоит из двух сплотовых единиц стабилизированной плавучести 2 (см. рис. 2, в). Данная комбинация является наиболее целесообразной, так как плот будет иметь наименьшую осадку без крена и дифферента и стабилизированный запас плавучести, но такой вариант допускается при условии достаточного запаса лесосплавного хода. Таким образом, при выполнении рядов плота в виде двух сплотовых единиц наиболее целесообразно использовать только сплотовые единицы со стабилизированным запасом плавучести.

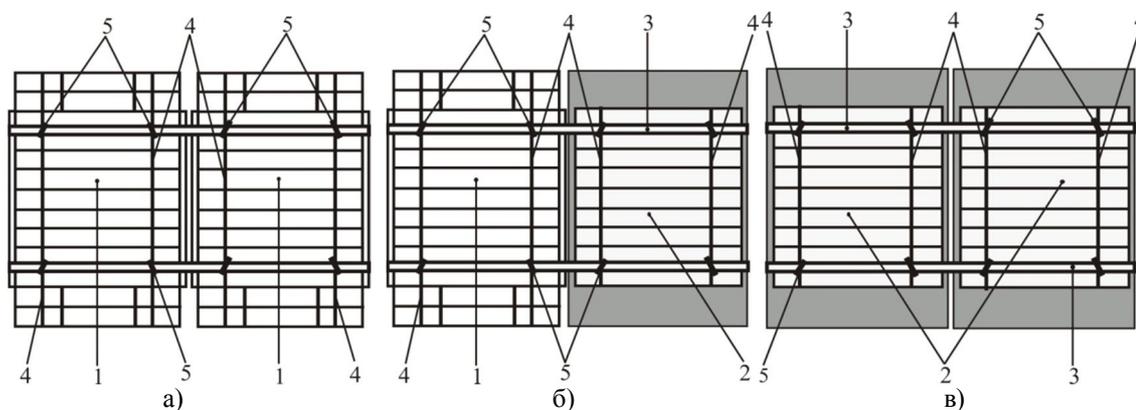


Рис. 2. Варианты расположения сплотовых единиц в рядах плота:
а – первый вариант; б – второй вариант; в – третий вариант

В случае наличия в рядах плота сплottedных единиц *1* и сплottedных единиц стабилизированной плавучести *2* в общем количестве трёх штук, их комбинация по расположению имеет шесть вариантов. Первый вариант – сплottedная единица стабилизированной плавучести *2*, располагается посередине ряда, а по бокам сплottedные единицы *1* (см. рис. 3, *а*). Расположение сплottedной единицы стабилизированной плавучести *2* в середине ряда будет обеспечивать сохранность гибкого водонепроницаемого материала и малую осадку плота. При втором варианте сплottedная единица *1* установлена в середине ряда, а следовательно, по бокам установлены сплottedные единицы стабилизированной плавучести *2* (см. рис. 3, *б*). В данном варианте поперечный ряд будет иметь меньшую осадку, чем при первом варианте, но существует большой процент вероятности повреждения гибкого водонепроницаемого материала, что при формировании плота нужно учитывать. Третий вариант – сплottedная единица *1* находится с одного борта плота, а сплottedные единицы стабилизированной плавучести *2* располагаются посередине и по второму борту плота (см. рис. 3, *в*). В свою очередь при четвёртом варианте сплottedная единица стабилизированной плавучести *2* установлена с одного борта, а остальные – сплottedные единицы *1* (см. рис. 3, *г*). В реальных условиях третий и четвёртый варианты неприемлемы, так как будет образовываться крен плота, с неравномерным распределением осадки по периметру, и проводка его по рекам с малыми глубинами невозможна. Пятый и шестой варианты соответственно – ряд состоит только из сплottedных единиц *1* (см. рис. 3, *д*), и ряд состоит из сплottedных единиц стабилизированной плавучести *2* (см. рис. 3, *е*). Использование пятого варианта нецелесообразно, а при шестом варианте плот будет иметь наименьшую возможную осадку и стабилизированный запас плавучести, но существует вероятность повреждения

гибкого водонепроницаемого материала у сплottedных единиц стабилизированной плавучести, расположенных по бортам плота. Таким образом, необходимо формировать плоты из рядов, которые полностью состоят из сплottedных единиц стабилизированной плавучести или когда сплottedная единица стабилизированной плавучести находится в середине ряда.

Содержание в рядах плота в суммарном количестве четырёх штук сплottedных единиц *1* и сплottedных единиц стабилизированной плавучести *2* наиболее оптимальное, их расположение в ряду представлено на рис. 1, *б*, при этом гарантируется сохранение гибкого водонепроницаемого материала от повреждения. Также поперечный ряд плота может формироваться только из сплottedных единиц стабилизированной плавучести *2* (см. рис. 4), который будет иметь малую осадку и стабилизированный запас плавучести. Рассмотренный вариант приемлем, когда габариты лесосплавного хода позволяют сохранить гибкий материал сплottedных единиц стабилизированной плавучести.

Средние равнинные и полуравнинные реки позволяют использовать плоты, ряды которых, в зависимости от габаритов сплottedных единиц и лесосплавного хода, состоят из четырёх (см. рис. 1, *б* и 4), пяти или шести сплottedных единиц. Рассмотрим наиболее оптимальное расположение сплottedных единиц *1* и сплottedных единиц стабилизированной плавучести *2*, в рядах плота, которые будут обеспечивать безопасную буксировку лесотранспортных единиц по водному пути.

В случае содержания в рядах плота пяти сплottedных единиц рациональная комбинация расположения сплottedных единиц *1* и сплottedных единиц стабилизированной плавучести *2* имеет три варианта. В первом варианте сплottedные единицы *1* располагаются по бортам и в центре ряда, а сплottedные единицы стабилизированной плавучести *2* между ними (см. рис. 5, *а*). Представленный вариант расположения

сплоточных единиц в ряду обеспечивает сохранность гибкого материала и требует изготовления небольшого количества сплоточных единиц стабилизированной плавучести, но в данном случае осадка плота будет повышенной. Второй вариант – сплоточные единицы стабилизированной плавучести 2 располагаются посередине ряда, а следовательно, сплоточные единицы 1 – по бортам (см. рис. 5, б). Данный вариант обеспечивает сохранность гибкого гидрофобного материала сплоточных единиц стабилизированной плавучести и ма-

люю осадку лесотранспортных единиц. Третий вариант приемлем, когда необходимо получить плот с минимальной осадкой и стабилизированным запасом плавучести, при таких условиях поперечный ряд состоит только из сплоточных единиц стабилизированной плавучести 2 (см. рис. 5, в). На практике при проектном содержании в ряду пяти сплоточных единиц следует использовать второй вариант их расположения, а на средних реках с большими габаритами лесосплавного хода необходимо применять первый вариант.

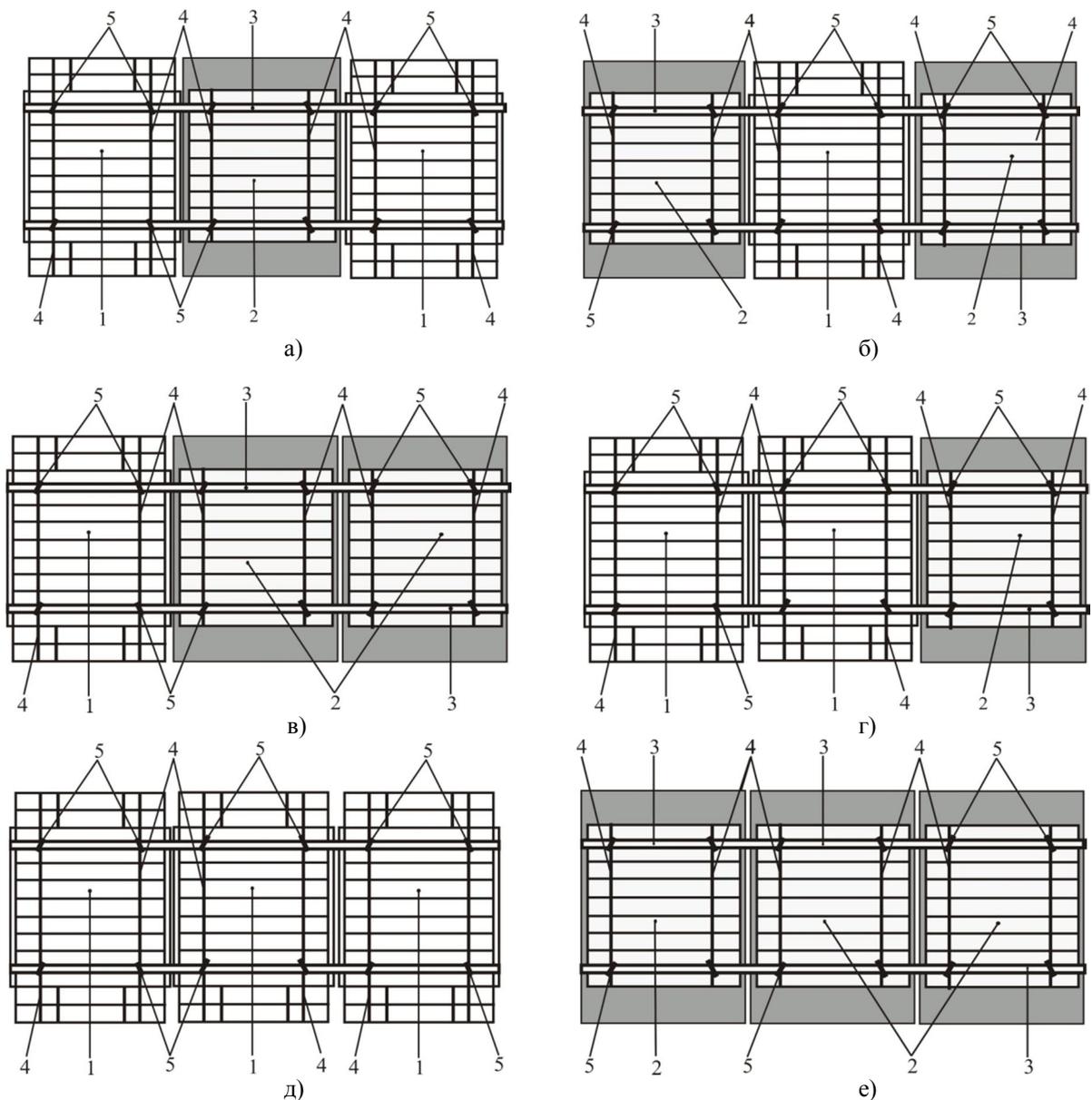


Рис. 3. Варианты расположения сплоточных единиц в рядах плота:
 а – первый вариант; б – второй вариант; в – третий вариант; г – четвёртый вариант;
 д – пятый вариант; е – шестой вариант

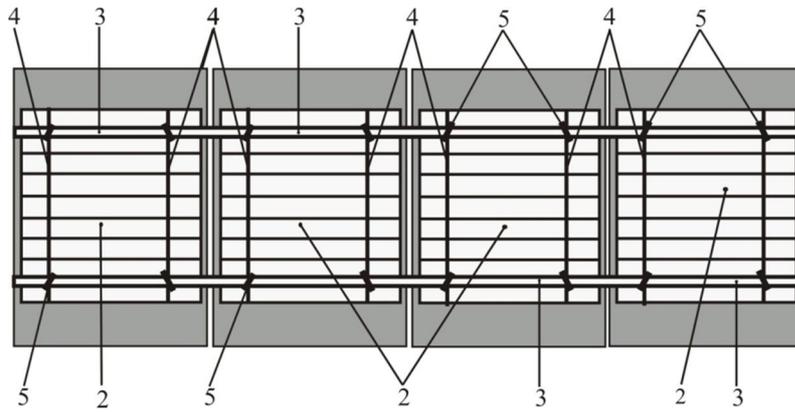


Рис. 4. Вариант расположения сплочных единиц стабилизированной плавучести в рядах плота

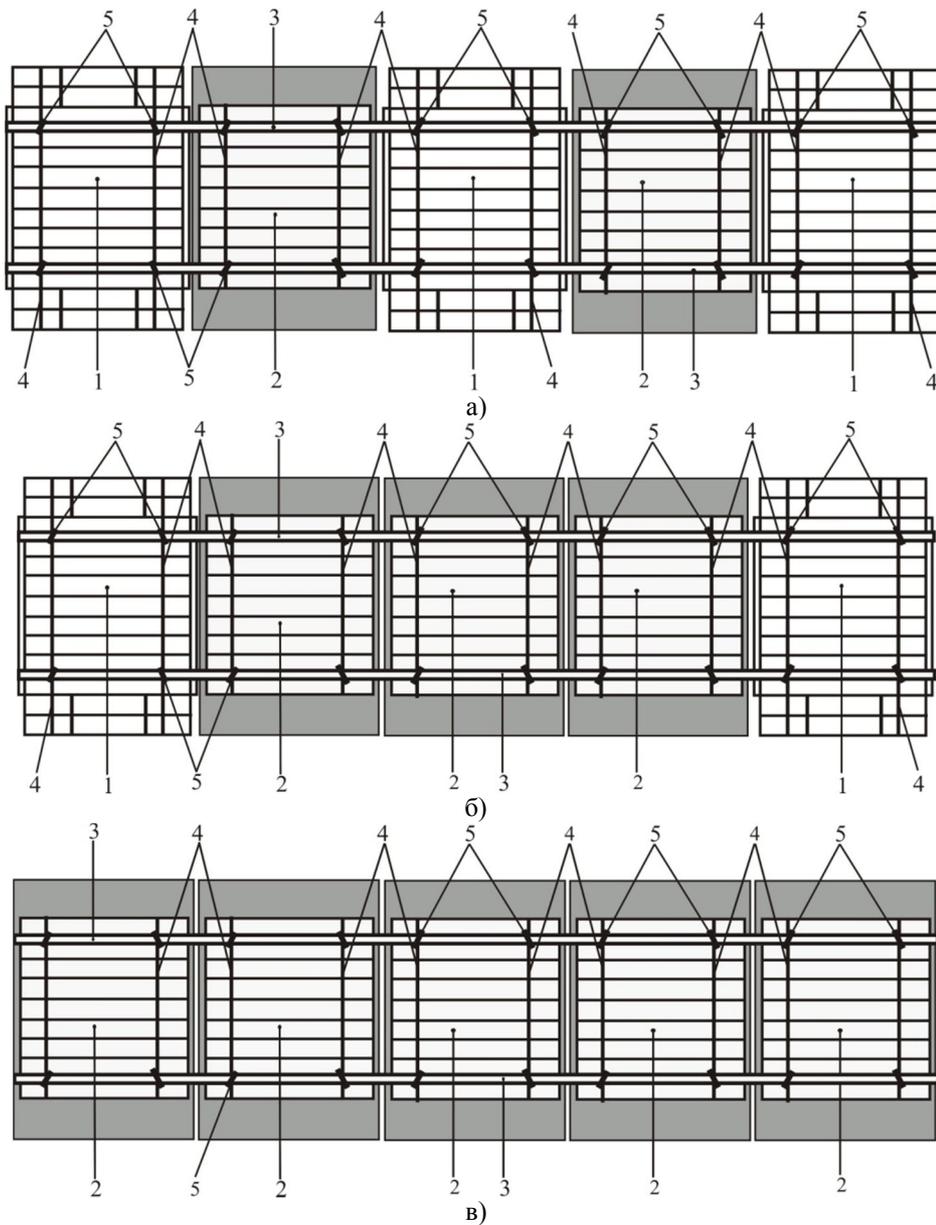


Рис. 5. Варианты расположения сплочных единиц в рядах плота:
а – первый вариант; б – второй вариант; в – третий вариант

Расположение в ряду плота сплоченных единиц 1 и сплоченных единиц стабилизированной плавучести 2 в совокупности шести штук имеет большое количество вариантов, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Рассмотрим несколько наиболее перспективных вариантов, которые могут быть использованы при проведении лесосплавных работ на средних реках. Первый вариант – две сплоченные единицы стабилизированной плавучести 2 располагаются посередине ряда, а остальные, сплоченные единицы 1, расположены по борту (см. рис. 6, а). Данный вариант позволяет сохранить гибкий гидрофобный материал от повреждения, но осадка плота будет большой и неравномерной по периметру ряда, и на практике не применим. Второй вариант – сплоченные единицы стабилизированной плавучести 2 располагаются между сплоченными единицами 1 с обязательной установкой сплоченных единиц 1 по бортам (см. рис. 6, б). Этот вариант так же, как и первый, максимально сохраняет гибкий водонепроницаемый материал сплоченных единиц 2, но придает плоту большую осадку, а следовательно, данный вариант может использоваться при максимальных габаритах лесосплавного хода. В третьем варианте весь ряд представлен сплоченными единицами стабилизированной плавучести 2 (см. рис. 6, в), он применим, когда необходимо добиться минимальной осадки плота с сохранением качества поставляемой древесины. При использовании третьего варианта следует правильно произвести расчёт осадки плота и габаритов лесосплавного хода, чтобы исключить повреждения гибкого гидрофобного материала во время лесосплавных работ. Четвёртый вариант – четыре сплоченные единицы стабилизированной плавучести 2 расположены в центре ряда, а следовательно, остальные две, сплоченные единицы 1, расположены по бортам (см. рис. 6, г). Расстановка спло-

точных единиц указанным образом будет гарантировать сохранность гибкого водонепроницаемого материала от повреждения и малую осадку плота, с большим запасом плавучести, что обеспечит выполнение лесосплавных работ с максимальным процентом безопасности и эффективности.

На средних реках плот может формироваться из лесотранспортных единиц, используемых на малых реках, то есть после буксировки плота по малым рекам происходит вывод плотов на средние реки, которые характеризуются большими габаритами лесосплавного хода, где в местах организации постоянных формировочных рейдов или временных рейдах изготавливают секционные плоты. Например, плоты, в рядах которых содержится по три сплоченные единицы, комбинация расположения которых по типу рис. 3, а, буксируются на формировочный рейд. На рейде из них формируют секционный плот, конструкция которого представлена на рис. 7. В дальнейшем при выводе таких плотов на большие и крупные реки из них формируют магистральные плоты, которые транспортируются к переформировочному рейду или непосредственно на рейд приплава.

Выбор количества сплоченных единиц в рядах и их комбинация зависят от размеров круглых лесоматериалов, плотности древесины, коэффициента полноты лесотранспортных единиц. Приведённые факторы формируют осадку сплоченных единиц, а следовательно, осадку поперечного ряда. Также вариант расположения сплоченных единиц в ряду зависит от ширины и глубины лесосплавного хода с учётом установленного запаса. Следовательно, при организации лесосплавных работ необходимо определить осадку поперечных рядов, которая и будет осадкой плота, с последующей проверкой условия безопасной буксировки плота по заданному лесосплавному ходу.

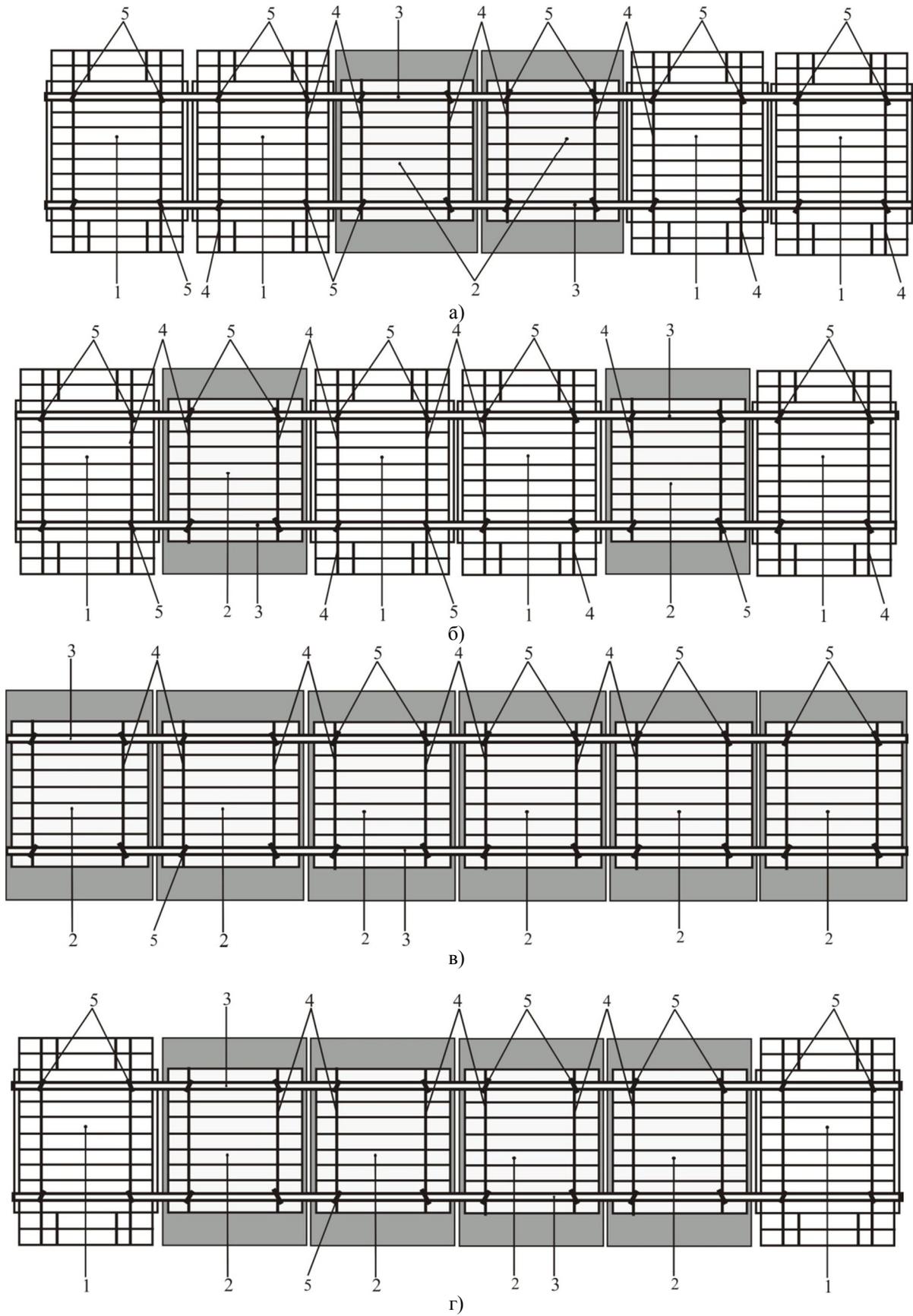


Рис. 6. Варианты расположения сплочных единиц в рядах пята:
 а – первый вариант; б – второй вариант; в – третий вариант; г – четвёртый вариант

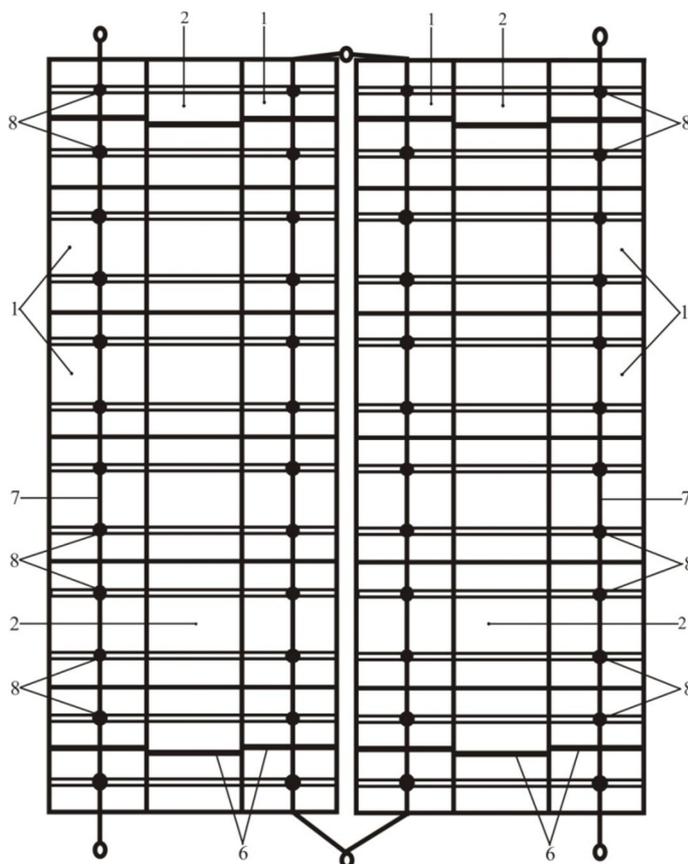


Рис. 7. Модернизированный секционный плот с малой осадкой

Теоретические исследования осадки модернизированного плота. При использовании модернизированного плота на практике, в различных условиях плавания, важно знать осадку плота в зависимости от качественного и количественного содержания плоских сплоточных единиц в поперечном ряду.

Равновесие поперечного ряда в жидкости независимо от количественного и качественного содержания плоских сплоточных единиц будет тогда, когда выполняется следующее условие:

$$P = G_{\text{ж}} = G_{\text{ЛЕ}}, \quad (1)$$

где P – выталкивающая сила, Н; $G_{\text{ж}}$ – вес вытесненной жидкости, Н; $G_{\text{ЛЕ}}$ – вес лесотранспортной единицы (поперечного ряда), Н.

Вес лесотранспортной единицы (поперечного ряда) для любого количества в ряду сплоточных единиц обычной конструкции и сплоточных единиц стабили-

зированной плавучести выглядит следующим образом:

$$G_{\text{ЛЕ}} = \sum_{i=1}^a g(V_{\text{срЛС}} \rho_{\text{срДС}} + m_{\text{СТС}} + m_{\text{ФТС}} + m_{\text{ГМ}}) + \sum_{i=1}^b g(V_{\text{срЛО}} (\rho_{\text{срДО}} + tb_{\text{СИП}}) + m_{\text{СТО}} + m_{\text{ФТО}}) + 2g(m_{\text{Б}} + m_{\text{КБ}}), \quad (2)$$

где a – количество сплоточных единиц стабилизированной плавучести в ряду; g – ускорение свободного падения, м/с²; $V_{\text{срЛС}}$ – средний объём круглых лесоматериалов и коры в сплоточной единице стабилизированной плавучести, м³; $\rho_{\text{срДС}}$ – средняя плотность древесины с корой в сплоточной единице стабилизированной плавучести, кг/м³; $m_{\text{СТС}}$ – масса сплоточного такелажа в сплоточной единице стабилизированной плавучести, кг; $m_{\text{ФТС}}$ – масса формовочного такелажа в сплоточной единице стабилизированной плавучести, кг;

$m_{ГМ}$ – масса гибкого водонепроницаемого материала в сплottedной единице стабилизированной плавучести, кг; b – количество сплottedных единиц обычной конструкции в ряду; $V_{срЛО}$ – средний объём круглых лесоматериалов и коры в сплottedной единице обычной конструкции, m^3 ; $\rho_{срДО}$ – средняя плотность древесины с корой в сплottedной единице обычной конструкции, $кг/м^3$; t – время нахождения сплottedной единицы обычной конструкции в жидкости, сут.; $b_{СИП}$ – средняя интенсивность поглощения жидкости сплottedной единицей обычной конструкции, $кг/м^3$ сут; $m_{СТО}$ – масса сплottedного такелажа в сплottedной единице обычной конструкции, кг; $m_{ФТО}$ – масса формирующего такелажа в сплottedной единице обычной конструкции, кг; m_B – масса бруствера, кг; $m_{КБ}$ – масса крепёжных элементов для крепления одного бруствера.

Так как, согласно закону Архимеда, выталкивающая сила P равна весу вытесненной жидкости $G_{Ж}$, тогда вес вытесненной жидкости составит

$$G_{Ж} = \sum_{i=1}^a g L_C B_C H_C \rho_{Ж} + \sum_{i=1}^b g K_{ПОЛ} L_O B_O H_O \rho_{Ж}, \quad (3)$$

где L_C – длина сплottedных единиц стабилизированной плавучести, м; B_C – ширина сплottedных единиц стабилизированной плавучести, м; H_C – высота сплottedных единиц стабилизированной плавучести, м; $\rho_{Ж}$ – плотность жидкости, $кг/м^3$; $K_{ПОЛ}$ – коэффициент полндревесности сплotted-

ной единицы обычной конструкции, $кг/м^3$; L_C – длина сплottedных единиц обычной конструкции, м; B_C – ширина сплottedных единиц обычной конструкции, м; H_C – высота сплottedных единиц обычной конструкции, м.

Подставим зависимости (2) и (3) в равенство (1)

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^a g L_C B_C H_C \rho_{Ж} + \sum_{i=1}^b g K_{ПОЛ} L_O B_O H_O \rho_{Ж} = \\ & = \sum_{i=1}^a g (V_{срЛС} \rho_{срДС} + m_{СТО} + m_{ФТС} + m_{ГМ}) + \\ & + \sum_{i=1}^b g (V_{срЛО} (\rho_{срДО} + t b_{СИП}) + m_{СТО} + m_{ФТО}) + \\ & + 2g(m_B + m_{КБ}). \end{aligned} \quad (4)$$

Обусловливаемся, что поперечный ряд представляет собой лесотранспортную единицу, состоящую из совокупности элементов, сплottedных единиц обычной конструкции и сплottedных единиц стабилизированной плавучести, имеющих различную плотность и габаритные размеры, а также установленных в ряду с интервалами друг от друга. При этом брустверы, наложенные на сплottedные единицы, считаем абсолютно жёсткими и прочно закреплёнными гибкими обвязками к сплottedным единицам. Согласно данным условиям, по периметру поперечного ряда осадка должна быть одинакова, если сплottedные единицы правильно установлены в ряду по представленным выше рекомендациям. Тогда, используя равенство (4) и представив высоту сплottedных единиц обычной конструкции и сплottedных единиц стабилизированной плавучести через общую осадку $T_{ЛЕ}$, выразим осадку поперечного ряда

$$T_{ЛЕ} = \frac{\left[\sum_{i=1}^a g (V_{срЛС} \rho_{срДС} + m_{СТО} + m_{ФТС} + m_{ГМ}) + \sum_{i=1}^b g (V_{срЛО} (\rho_{срДО} + t b_{СИП}) + m_{СТО} + m_{ФТО}) + 2g(m_B + m_{КБ}) \right]}{\left[\sum_{i=1}^a g L_C B_C \rho_{Ж} + \sum_{i=1}^b g K_{ПОЛ} L_O B_O \rho_{Ж} \right]}. \quad (5)$$

Расчет осадку поперечного ряда, проверяется условие

$$T_{\text{ЛЕ}} \leq h_{\text{Л.Х.}} - z, \quad (6)$$

где $h_{\text{Л.Х.}}$ – минимальная глубина лесосплавного хода на расчетном участке, которая определяется по ширине лесосплавного хода в зависимости от ширины плота (поперечного ряда), м; z – рекомендуемый донный запас (не менее 0,3 м).

Если условие (6) выполняется, то выбранное количество сплотовых единиц обычной конструкции и сплотовых единиц стабилизированной плавучести и их комбинация расположения в ряду подходит для рассматриваемых водных путей. В случае невыполнения данного условия необходимо изменить количество сплотовых единиц и их комбинацию расположения в ряду, рассчитать повторно осадку поперечного ряда по зависимости (5) и проверить условие (6).

Выводы

1. Повышение эффективности и экологической безопасности плотового спла-

ва лесоматериалов обеспечивается не только совершенствованием сплотовых единиц, но и разработкой плота с различными комбинациями сплотовых единиц обычной конструкции и стабилизированной плавучести.

2. Наиболее рационально изготавливать поперечный ряд плота с большим количеством сплотовых единиц стабилизированной плавучести, с преимущественным расположением их посередине ряда.

3. Приведенная аналитическая зависимость для расчета изменения осадки плота с течением времени учитывает содержание в поперечном ряду сплотовых единиц обычной конструкции и стабилизированной плавучести, габариты сплотовых единиц.

4. Использование в практических условиях модернизированного плота, предназначенного для рек с малыми глубинами, позволит повысить эффективность и экологическую безопасность плотового сплава лесоматериалов.

Список литературы

1. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 г. № 74-ФЗ // Экологический консалтинг / Автономная некоммерческая организация «Поволжский центр экологических оценок». – Казань, 2006. – № 2. – С. 9-33.

2. Митрофанов, А.А. Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение: монография / А.А. Митрофанов. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. – 492 с.

3. Митрофанов, А.А. Научное обоснование новых технологий лесосплава по рекам с малыми глубинами / А.А. Митрофанов, В.А. Барабанов, П.Н. Перфильев // Ресурсосберегающие и экологические перспективные технологии и машины лесного комплекса будущего: матер. междунар. научн. конф. / – Воронеж: ВГЛТА, 2009. – С. 319-324.

4. Васильев, В.В. Анализ результатов испытания плота из плоских сплотовых единиц в северодвинском бассейне / В.В. Васильев, В.А. Барабанов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: матер. междунар. научно-технической конф. «Техника и технологии – мост в будущее» – Воронеж: ВГЛТА, 2014. – № 5, ч. 4 (10-4). – С. 67-72.

5. Васильев, В.В. Усовершенствованные системы плотового сплава лесоматериалов: моно-

графия / В.В. Васильев, Д.Н. Афоничев. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 284 с.

6. Афоничев, Д.Н. Сплотовая единица стабилизированной плавучести / Д.Н. Афоничев, Н.Н. Папонов, В.В. Васильев // Известия вузов. Лесной журнал. – 2010. – № 6. – С. 114–120.

7. Васильев, В.В. Обеспечение экологической безопасности плотового сплава лесоматериалов с сохранением качества сплаваемой древесины / В.В. Васильев // Воронежский научно-технический вестник [Электронный ресурс]. – 2014. – № 1(7). – С. 78–90. – Режим доступа: <http://vestnikvglta.ucoz.ru>.

8. Пат. 2475408 РФ, МПК В 63 В 35/62. Плот / Д.Н. Афоничев, В.В. Васильев, Н.Н. Папонов; заявитель и патентообладатель ВГЛТА. – № 2011140910/11; заявл. 07.10.2011; опубл. 20.02.2013. Бюл. № 5. – 6 с.

9. Афоничев, Д.Н. Совершенствование конструкции плота для сплава древесины по рекам с малыми глубинами / Д.Н. Афоничев, В.В. Васильев, Н.Н. Папонов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2012. №02(76). – С. 274–283.

10. Васильев, В.В. Плотовой сплав лесоматериалов на реках с малыми глубинами / В.В. Васильев / XIII Международная молодёжная научная конференция «Севергеоэкотех-2012»: матер. конф. в 6-х ч. Ч. 2. – Ухта: УГТУ, 2013. – С. 162-164.

11. Васильев, В.В. Повышение эффективности плотового сплава лесоматериалов на реках с малыми глубинами / В.В. Васильев, Н.Н. Папонов // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: матер. десятой междунар. научно-техн. конф. – Вологда: ВоГТУ, 2013. – С. 44-47.

12. Пат. 2381949 РФ, МПК В 63 В 35/62, 35/58. Сплоточная единица / Д.Н. Афоничев, Н.Н. Папонов, В.В. Васильев; заявитель и патентообладатель ВГЛТА. – № 2008146180/11; заявл. 21.11.2008; опубл. 20.02.2010. – Бюл. № 5. – 6 с.

13. Пат. 2456200 РФ, МПК В 63 В 35/62. Сплоточная единица / В.В. Васильев; заявитель и патентообладатель ВГЛТА. – № 2011108194/11; заявл. 02.03.2011; опубл. 20.07.2012. – Бюл. № 20. – 6 с.

14. Пат. 2460679 РФ, МПК В 65 G 69/20, В 65 В 27/10. Плоская плоточная единица / В.В. Васильев, Д.Н. Афоничев; заявитель и патентообладатель ВГЛТА. – № 2011109353/13; заявл. 11.03.2011; опубл. 10.09.2012. – Бюл. № 25. – 7 с.

15. Пат. № 2525498 РФ, МПК В 63 В 35/62. Плоская плоточная единица / В.В. Васильев, Д.Н. Афоничев, В.А. Морковин, Н.Н. Папонов; заявитель и патентообладатель ВГЛТА. – № 2013122624/11; заявл. 16.05.2013, опубл. 20.08.2014. – Бюл. № 23. – 11 с.

Статья поступила в редакцию 30.01.15.

Информация об авторе

ВАСИЛЬЕВ Владимир Викторович – кандидат технических наук, инженер лесного хозяйства ОКУ «Красногвардейское лесничество», Управление лесами Белгородской области. Область научных интересов – повышение эффективности и экологической безопасности лесозаготовок и транспорта леса. Автор 70 публикаций.

UDK 630*378.33

A MODERNIZED FLOAT FOR THE SHALLOW DEPTH RIVERS

V. V. Vasilyev

Regional government agency «Krasnogvardeyskoe lesnichestvo»,
Forest Management in Belgorod Oblast,
18, K-Marks St., Biruch, Belgorod oblast, 309920, Russian Federation
E-mail: vasilyev.vova2012@yandex.ru

Keywords: water transport; floating route; forest-transport unit; float; transverse row; flat raft with the stabilized reserve of buoyancy; draft.

Introduction. Growth of number of water transport on the shallow depth rivers requires elaboration of the special structures for forest-transport devices. **The goal of the research** is to modernize the float, intended for the shallow depth rivers. The main trend for improvement of forest-transport devices intended for the shallow depth rivers, is to elaborate flat rafts with the stabilized reserve of buoyancy. Flat rafts shall have shallow draft, good buoyancy and stacking factor. A float with the two float units of the stabilized buoyancy was made with the use of the float units. They are located in the centre of the transverse row (two float units of an ordinary float structure are located on each side of the transverse row). In practice, number of the float units in the transverse rows of the ordinary float structure and the number of the float units with the stabilized reserve of buoyancy may be diverse. Change of the draft of the transverse row and the float is carried out with greater or lesser intensity during a certain period of time. **Results.** The carried out research in modernization of the float showed that it is necessary to increase the number of float units in the transverse row to increase the width of the floating route. It is important to increase the number of float units with the stabilized reserve of buoyancy in case of decrease of the minimum depth of floating route. At that, the float units shall be mainly arranged in the centre of the transverse row to assure the safety of the flexible waterproofing material. The carried out theoretical study of the draft of the modernized float allowed to find the regularity in the change of the transverse row draft, depending on the float units arrangement, where increase of the float units number with the stabilized reserve of buoyancy of the transverse row draft (and the float on the whole) decreases. **Conclusion.** Usage of the modernized float, intended for the shallow depth rivers and with the limited width of the float route, will let improve the efficiency and ecological safety of rafting of wood.

REFERENCES

1. Vodnyy kodeks Rossiyskoy Federatsii ot 03.06.2006. g. № 74-FZ [The Water Code of the Russian Federation of 03.06.2006 No. 74-FZ]. Ekologicheskiy konsalting / Avtonomnaya nekommercheskaya organizatsiya «Povolzhskiy tsentr ekologicheskikh otsenok» [Ecological Consulting / Autonomous Non-Profit Organization «Volga Region Center of Ecological Estimates»]. Kazan, 2006. № 2. Pp. 9-33.
2. Mitrofanov A.A. *Lesosplav. Novye tekhnologii, nauchnoe i tekhnicheskoe obespechenie* [Timber Rafting. New Technologies, Scientific and Technical Providing]. Arkhangel'sk: Izdatel'stvo AGTU, 2007. 492 p.
3. Mitrofanov A.A., Barabanov V.A., Perfilov P.N. Nauchnoe obosnovanie novykh tekhnologii lesosplava po rekam s malymi glubinami [Scientific Justification of New Technologies of Timber Rafting on the Rivers with Small Depths]. *Resursoberegayushchie i ekologicheskie perspektivnye tekhnologii i mashiny lesnogo kompleksa budushchego: mater. mezhdunar. nauchn. konf.* [Resource-Saving and Ecologically Perspective Technologies and Machines of Timber Complex in the Future: proceedings of the International research conference]. Voronezh: VGLTA, 2009. Pp. 319-324.
4. Vasilev V.V., Barabanov V.A. Analiz rezul'tatov ispytaniya plota iz ploskikh splotochnykh edinit v severodvinskoy bassejne [The Analysis of the Results of Test of a Raft Made of Flat Raft in the Severodvinsk Basin]. *Aktualnye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika: mater. mezhdunar. nauchno-tekhnicheskoy konf. «Tekhnika i tekhnologiya – most v budushchee»* [Actual Trends of the Researches in the XXIth Century: Theory and Practice: proceedings of the International research conference «Equipment and Technologies is the Bridge to the Future»]. Voronezh: VGLTA, 2014, № 5 P. 4 (10-4). Pp. 67-72.
5. Vasilev V.V., Afonichev D.N. *Usovershenstvovannyye sistemy plotovogo splava lesomaterialov* [Advanced Systems of Timber Rafting]. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 284 p.
6. Afonichev D.N., Paponov N.N., Vasilev V.V. Splotochnaya edinitsa stabilizirovannoy plavuchesti [Raft Unit of the Stabilized Buoyancy]. *Izvestiya Vuzov «Lesnoy zhurnal»* [News of Higher Educational Institutions «Forest Journal»]. 2010. № 6. Pp. 114–120.
7. Vasilev V.V. Obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti plotovogo splava lesomaterialov s sokhraneniem kachestva splavlyayemoy drevesiny [Ensuring of Ecological Safety of Timber Rafting with Preservation of Quality of the Raft Wood]. 2014. No 1(7). URL: <http://vestnikvglta.ucoz.ru>
8. Afonichev D.N., Vasilev V.V., Paponov N.N. Plot [Raft]. Patent RF, no. 2475408, 2013.
9. Afonichev D.N., Vasilev V.V., Paponov N.N. Sovershenstvovanie konstruktivnoy plota dlya splava drevesiny po rekam s malymi glubinami [Improvement of a Raft Design for Wood Rafting on the Rivers with Small Depths]. 2012. No 01(76). URL: <http://ej.kubagro.ru/2012/02/pdf/22.pdf>
10. Vasilev V.V. Plotovoy splav lesomaterialov na rekakh s malymi glubinami [Wood Rafting along the Rivers with Small Depths]. *XIII Mezhdunarodnaya molodezhnaya nauchnaya konferentsiya «Severge-oekotekh-2012», mater. konf. v 6-kh ch. Ch. 2* [XIII International Youth Research Conference «Severge-oekotekh-2012»: proceedings in the 6th parts. Part 2]. Ukhta: UGTU, 2013. Pp. 162-164.
11. Vasilev V.V., Paponov N.N. Povyshenie effektivnosti plotovogo splava lesomaterialov na rekakh s malymi glubinami [Efficiency Growth of Wood Rafting on the Rivers with Small Depths]. *Aktualnye problemy razvitiya lesnogo kompleksa: mater. desyatoy mezhdunar. nauchno-tekhn. konf.* [Actual Problems of Development of Timber Complex: proceedings of the X International Research and Technical Conference]. Vologda: VoGTU, 2013. Pp. 44-47.
12. Afonichev D.N., Paponov N.N., Vasilev V.V. Splotochnaya edinitsa [Raft Unit]. Patent RF, no. 2381949, 2010.
13. Vasilev V.V. Splotochnaya edinitsa [Raft Unit]. Patent RF, no. 2456200, 2012.
14. Vasilev V.V., Afonichev D.N. Ploskaya splotochnaya edinitsa [Flat Raft Unit]. Patent RF, no. 2460679, 2012.
15. Vasilev V.V., Afonichev D.N., Markovin V.A., Paponov N.N. Ploskaya splotochnaya edinitsa [Flat Raft Unit]. Patent RF, no. 2525498, 2014.

The article was received 30.01.15.

Citation for an article: Vasilyev V. V. A modernized float for the shall depth rivers. Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management. 2015. No 1 (25). Pp. 45-58.

Information about the author

VASILYEV Vladimir Victorovich – Candidate of Technical Sciences, engineer at the forestry regional government agency «Krasnogvardeyskoe lesnichestvo», Forest Management in Belgorod Oblast. Research interest – increase of efficiency and ecological safety of logging and transport of the wood. The author of more than 70 publications.

УДК 625.8

ПРЕДЛОЖЕНИЕ К ИЗУЧЕНИЮ ПРОЦЕССОВ СТАРЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ БЕТОНОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

М. Г. Салихов, В. Ю. Иливанов, Л. И. Малянова

Поволжский государственный технологический университет,
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
E-mail: SalihovMG@volgatech.net

Дан краткий анализ причин старения органических бетонов и известных методик их изучения в лабораторных условиях. Предложена новая методика оценки процесса старения органических бетонов во времени при высоких температурах в лабораторных условиях при помощи безразмерных критериев, отличающаяся простотой и возможностью использования для проведения экспериментов стандартного оборудования.

Ключевые слова: битум; органический бетон; старение; высокая температура; методика; коэффициент и интенсивность старения.

Введение. Битум является одним из главных элементов структуры и целостности в процессе работы органических бетонов в конструктивных слоях дорожных одежд автомобильных дорог. Под воздействием внешней среды – температуры и других факторов и внутренних процессов при приготовлении, временном хранении, транспортировании и эксплуатации, происходит постепенное изменение свойств битума, и соответственно органических бетонов с их использованием. Установлено, что битум при высоких температурах через каждый час переходит в другую марку из-за испарения летучих составляющих, полимеризации без доступа воздуха, поликонденсации в присутствии кислорода и оксиполимеризации [1, 2]. Такие процессы во времени принято называть старением. Из-за происходящего изменения группового состава и структуры ослабевают вяжущие свойства битума, что неизбежно ведёт, чаще всего, к ухудшению физико-механических свойств органических бетонов (битумо-минеральных смесей, асфальтобетонов, щебёночно-мастичных асфальтобетонов и др.). Соответственно, у инженерных конструкций с использованием этих материалов уменьшается долговечность.

Известны следующие методы изучения долговечности органических бетонов:

1) путём анализа динамики изменения качественных показателей органических бетонов в инженерном сооружении периодическим отбором и испытанием проб разрушающимися и неразрушающимися способами в течение всего срока службы сооружения;

2) периодическим визуальным обследованием и экспериментальным установлением эксплуатационных характеристик конструктивного слоя – износа, ровности и шероховатости покрытия, коэффициента сцепления колеса автомобиля с поверхностью покрытия в фактические сроки эксплуатации и т.д.;

3) оценкой эксплуатационного состояния органического бетона в инженерной конструкции по комплексу физико-механических свойств извлечённого специальными методами из органического бетона битума;

4) путём испытания образцов органического бетона в рыхлом или уплотнённом состоянии и битума в тонких слоях после воздействия на них высоких температур, ультрафиолетового и импульсного ультразвуковых полей, замораживания –

© Салихов М. Г., Иливанов В. Ю., Малянова Л. И., 2015.

Ссылка на статью: Салихов М. Г., Иливанов В. Ю., Малянова Л. И. Предложение к изучению процессов старения органических бетонов при воздействии высоких температур // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 1 (25). – С. 59-65.

оттаивания, действия циклических нагрузок или в результате их сочетания и т. д.

Первые три метода позволяют наблюдать за изменением свойств и состояния инженерного объекта в естественных условиях. Однако они требуют длительных наблюдений [3] и не позволяют выделять влияние на процессы старения отдельных факторов.

Последний, четвертый, является ускоренным методом и позволяет изучать процессы старения в лабораторных условиях.

Как установлено многими исследователями – А.И. Лысихиной, А.С. Колбановской, В.В. Михайловым, Е.Г. Тарацанским, С.М. Атояном [2–5], Л.М. Гохманом, И.А. Рыбьевым, Л.Б. Гезенцеем, Н.В. Горельшевым, И.В. Руденской, А.В. Руденским, В.А. Золотаревым, И.А. Королевым и др. [1, 6–9], процессы старения органических бетонов зависят от множества случайных факторов, таких как состав, природа и способы получения битумов, вид и химическая активность минеральных составляющих, толщины битумных плёнок на поверхностях минеральной части, плотности и пористости бетона, величины, интенсивности и продолжительности действия внешних и внутренних факторов и т. д.

О старении органических бетонов судят, чаще всего, по изменению отдельных или комплекса свойств с течением времени в абсолютных показателях, т. е. не учитывают масштабный фактор. При этом не учитывается различие поведения бетонов в составе модельных образцов и в конструкциях дорожных одежд. Для выявления главных факторов, характеризующих и процессы старения и, соответственно для оценки долговечности конструктивного слоя, в том числе в условиях присутствия в их составе поверхностно-активных веществ, требуется наличие специализированной, хорошо оснащённой лаборатории.

Целью работы является разработка новой методики, отличающейся простотой, независимостью от масштабного

фактора и возможностью использования при экспериментах стандартного оборудования действующих лабораторий.

Постановка задачи. К настоящему времени опубликовано достаточно много работ по изучению влияния на процессы старения и долговечности битумов различного структурно-реологического типа и категорий и органических бетонов на их основе, способов получения вяжущих, соотношения компонентов смесей, действия циклических нагрузок, высоких и низких температур, замораживания и оттаивания. Изучение изменения свойств и структуры выполняется путём установления абсолютных численных значений их свойств после воздействий стандартными методами, импульсным ультразвуковым или хроматографическим способами [2, 4, 6, 11, 12]. По мнению многих исследователей, решающая роль в изменении свойств органических бетонов принадлежит вяжущему, которое в различные периоды структурообразования в зависимости от температуры, прилагаемых давлений, внутренних особенностей строения и стадии старения играют роль пластификатора, клея и упруго-вязко-эластичного элемента системы. При этом процессы структурообразования зависят не только от способов воздействия факторов, но и от доступности кислорода воздуха. Такое разнообразие участвующих в процессе структурообразования и жизнедеятельности органических бетонов факторов предопределяет множественность способов и методов изучения происходящих процессов и трудность их унификации. Это, в свою очередь, затрудняет получение одинаково объясняемых результатов исследований. Известные методы проведения и оценки результатов экспериментов часто предполагают наличие сравнительно сложного специального оборудования и не учитывают весь комплекс структурных изменений в бетонах [1, 2, 7 – 11].

Изложение сути предлагаемой методики. С учётом вышеперечисленных

обстоятельств на кафедре строительных технологий и автомобильных дорог ПГТУ предложена и экспериментально проверена простая методика, позволяющая проводить анализ процессов старения органических бетонов и битумов с помощью безразмерных показателей – коэффициента старения $K_{ст}$ и интенсивности старения $I_{ст}$. Методика, с нашей точки зрения, универсальна, так как оценка ведётся при помощи безразмерных параметров. Данная методика также позволяет наблюдать динамику старения органических бетонов и битумов путём их выдерживания при высоких температурах в течение различного времени (в различные этапы времени прогревания). При этом используется стандартное оборудование для исследования битумов и органических бетонов.

Порядок подготовки и испытания образцов смесей для органических бетонов следующий:

1. Подбираются исходные компоненты и готовятся смеси запроектированного состава по стандартной методике из расчёта, чтобы сформировать достаточное количество стандартных образцов и установить значения рассматриваемых физико-механических свойств после их последовательного предварительного прогревания при намеченной высокой температуре. При этом с целью сравнительной оценки устойчивости к высоким температурам и долговечности бетона изучаемого состава рекомендуется параллельно исследовать образцы материала известного классического состава.

2. Приготовленную массу смесей делят на отдельные части, количество которых будет равняться числу этапов прогревания при высокой температуре. Для примера, количество этапов при прогревании в течение 0, 1, 3 часов будет – 3, при прогревании в течение 0, 1, 3, 5 часов – 4, при прогревании в течение 0, 1, 3, 5, 7 часов – 5.

3. Все части смесей помещают в термостат (сушильный шкаф, электропечь),

где автоматически поддерживается намеченная высокая температура с точностью ± 2 °С.

4. Формуют стандартные образцы бетонов по общепринятой стандартной методике после прогрева смесей в течение заданного времени и охлаждения до комнатных температур соответственно.

5. Проводят испытания изготовленных образцов и устанавливают значения физико-механических свойств – согласно перечню действующих нормативов.

6. Далее, для численной оценки процессов старения образцов органических бетонов, предлагается рассчитывать значения коэффициента старения $K_{ст}$ по формуле:

$$K_{ст} = \frac{\Pi_{ni}^{t_{np}}}{\Pi_{ni}^{t_{np}=0}}, \quad (1)$$

где $\Pi_{ni}^{t_{np}}$ – значение n -го физико-механического свойства образца органического бетона из смесей или битума после прогревания при высокой температуре в течение времени t_{np} ; $\Pi_{ni}^{t_{np}=0}$ – то же у образцов из предварительно не прогретых при высокой температуре (т. е. $t_{np} = 0$).

Для образцов из органического бетона рассматриваются следующие стандартные показатели: пределы прочности при сжатии при ± 0 °С, $+20$ °С, $+50$ °С, прочность при сжатии водонасыщенных образцов, водонасыщение, коэффициент водостойкости, сцепление, коэффициент внутреннего трения; для битумов – показатель пенетрации и растяжимость, температура размягчения и индекс пенетрации. Могут быть добавлены некоторые другие показатели.

7. По всем рассмотренным показателям по формуле (1) рассчитывают значения $K_{ст}$.

8. Строят графики зависимости значений отдельных физико-механических свойств образцов бетонов от времени прогревания смесей при высокой температуре (рис. 1). Затем на этих графиках проводят

параллельные к оси абсцисс линии на уровне пороговых (допустимых стандартами* значений).

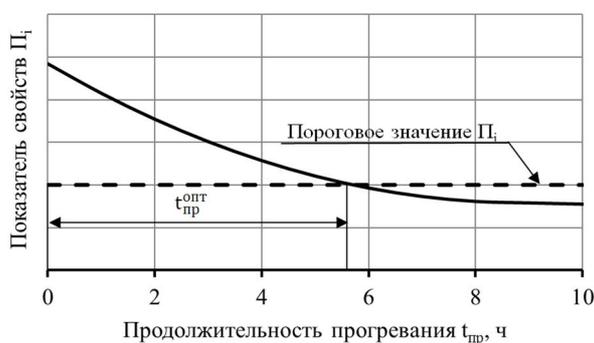


Рис. 1. График зависимости значений физико-механических свойств образцов органического бетона (битума) Π_i от продолжительности прогрева смесей $t_{пр}$

9. Точка пересечения линии порогового значения показателя с экспериментальной показывает:

а) предельное значение времени прогрева исследуемых образцов $t_{пр.пред.}$ при проведении экспериментов;

б) позволяет рассчитать значение коэффициента старения по всем показателям именно при данной продолжительности прогрева смесей.

10. По наименьшему значению коэффициента старения по всем показателям свойств при установленной продолжительности прогрева смеси назначается главный показатель, который в наибольшей степени чувствителен к старению при высокой температуре.

Время прогрева, соответствующее наступлению наименьшего значения коэффициента старения, будет показывать отно-

* ГОСТ 9128-2009. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. — М.: Стандартинформ, 2010. — 18 с. (введен в действие Пр. ФДА от 22.04.2010 г., № 62-ст.); ГОСТ 31015-2003. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия: Принят межгос. НТК по стандартизации и сертификации в строительстве и ЖКХ Госстроя России 17.10.2002. — М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. — 22 с. (Введен в действие с 01.05.2003 г.); ГОСТ 22245-90. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия.

сительную долговечность исследуемого бетона по сравнению с классическим. Например, по сравнению с долговечностью органического бетона стандартных составов и исследуемых — с использованием в своём составе отходов дробления известняков.

Для анализа динамики старения во времени и подтверждения полученного вывода по результатам проведённых экспериментов и расчётов далее рекомендуется рассчитывать значения интенсивности старения исследуемых материалов в различные этапы (периоды) прогрева по формуле:

$$I_{ст} = \frac{\Delta K_{cm}^{\Pi_i}}{\Delta t_{пр}}, \text{ ч}^{-1}, \quad (2)$$

где $\Delta K_{cm}^{\Pi_i} = \Delta K_{ст(i)} - \Delta K_{ст(i-1)}$, $\Delta K_{ст(i)}$ — значение коэффициента старения в начале прогрева; $\Delta K_{ст(i-1)}$ — значение коэффициента старения в конце прогрева на каждом этапе.

Этапы прогрева рекомендуется принять следующие:

а) 1-й этап — прогревание в течение 0 – 1 час: $\Delta t_{пр} = 1$ час;

б) 2-й этап — прогревание в течение 1 – 3 часов: $\Delta t_{пр} = 2$ час;

в) 3-й этап — прогревание в течение 3 – 5 часов: $\Delta t_{пр} = 2$ час;

г) 4-й этап — прогревание в течение 5 – 7 часов: $\Delta t_{пр} = 2$ час.

Далее строят график зависимости значений интенсивности старения $I_{ст}$ от продолжительности прогрева (рис. 2).

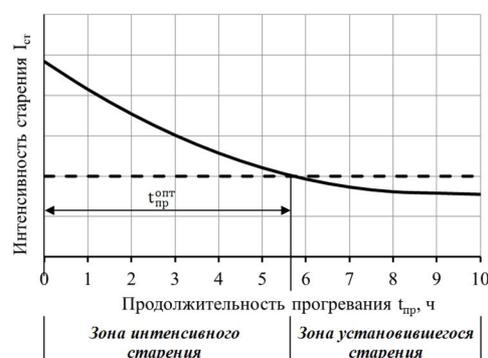


Рис. 2. График зависимости $I_{ст} = f(t_{пр})$

На графике (рис. 2) выделяют зоны интенсивного и установившегося старения. Граница этих зон соответствует точке преломления корреляционной кривой и, скорее всего, она также будет показывать оптимальное время прогревания смеси при проведении экспериментов при изучении старения образцов органического бетона при высокой температуре.

Предложенная методика была апробирована на примере исследования процессов старения модифицированных асфальтобетонных [13] и щебёночно-мастичных асфальтобетонных смесей [14] и показала свою корректность. Результаты этой проверки будут изложены отдельно.

В дальнейшем, с целью развития предложенной методики, необходимо провести дополнительные исследования в направле-

нии уточнения значений температуры прогревания смесей и битума. Необходимо также изучить влияние объёма прогреваемых образцов смеси и битума, способа нагрева и т.д. На данном этапе исследований температура прогревания смесей и битума назначена на уровне рабочей при приготовлении горячих смесей $+150 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Выводы. Предложенная методика относительно проста, позволяет изучать процессы старения органических бетонов и битумов при помощи безразмерного показателя коэффициента старения, значения которого не зависят от масштабного фактора из-за своей безразмерности. Экспериментальные работы при этом проводятся при помощи стандартного оборудования действующих лабораторий по стандартным методикам.

Список литературы

1. Таращанский, Е.Г. Исследование старения асфальтобетона импульсным ультразвуковым методом / Е.Г. Таращанский, И.И. Вильмсен // Повышение эффективности применения цементных и асфальтовых бетонов в Сибири: Сб. 3. – Омск: СибАДИ, 1975. – С. 40-61.
2. Скрипкин, А.Д. Старение битума в технологическом процессе его подготовки для производства асфальтобетонных смесей / А.Д. Скрипкин, Г.Б. Старков, Д.А. Колесник // Сб. статей и докладов ежегодной научной сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона. – М.: МАДГТУ (МАДИ), 2010. – С. 46-53.
3. Рыбьев, И.А. Асфальтовые бетоны / И.А. Рыбьев. – М.: Высшая школа, 1969. – С. 209-245.
4. Дорожный асфальтобетон / Л.Б. Гезенцев, Н.В. Горельшев, А.М. Богуславский, И.В. Королев. Под ред. Л.Б. Гезенцева. – 2-е изд., перер. и доп. – М.: Транспорт, 1985. – С. 28-29.
5. Атоян, С.М. Асфальтобетон из ракушечных известняков / С.М. Атоян. – М.: Транспорт, 1977. – С. 67-75.
6. Королев, И.А. Пути экономии битума в дорожном строительстве / И.А. Королев. – М.: Транспорт, 1985. – С. 52-80.
7. Руденская, И.М. Органическое вяжущее для дорожного строительства / И.М. Руденская, А.В. Руденский. – М.: Транспорт, 1984. – 229 с.
8. Калашникова, Т.Н. Проектирование составов долговечных асфальтобетонов / Т.Н. Калашникова // Труды СоюзДорНИИ. – М., 1984, поз. 1. – С. 36-41, 66-71.
9. Золотарев, В.А. Долговечность дорожных бетонов / В.А. Золотарев. – Харьков: Вища шк., – 1977. – 114 с.
10. Печеный, Б.Г. Долговечность битума и битумоинеральных смесей / Б.Г. Печеный. – М.: Стройиздат, 1981. – 123 с.
11. ПНСТ 8-2012. Дороги общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Метод определения сопротивления битума старению под воздействием высокой температуры и воздуха (метод RTF OT). EN 12607-2007/официальное. – М.: Стандартинформ, 2014 (введен в действие пр. ФДА от 5.12.2012 г., № 8-ПНСТ).
12. Илиополов, С.К. Органическое вяжущее для дорожного строительства / С.К. Илиополов, И.В. Мардирасова, Е.В. Углова, О.К. Безродный. – Ростов н/Д: ДорТранс РГСУ – ООО «Изд. Юг», 2003. – 428 с.
13. Салихов, М.Г. Изучение влияния модифицирующей добавки на некоторые свойства асфальтобетона с отсевами дробления известняков для покрытий лесовозных дорог / М.Г. Салихов, Л.И. Малянова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2013. – № 1 (17). – С. 64-71.
14. Илыванов, В.Ю. Исследование долговечности модифицированного щебёночно-мастичного асфальтобетона при действии агрессивной среды / В.Ю. Илыванов, М.Г. Салихов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2013. – № 2 (18). – С. 38-45.

Статья поступила в редакцию 30.01.15.

Информация об авторах

САЛИХОВ Мухаммет Габдулхаевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительных технологий и автомобильных дорог, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – физико-химические процессы и экологические аспекты производства и применения дорожно-строительных материалов. Автор 205 публикаций, 13 патентов и авторских свидетельств СССР и РФ на изобретения.

E-mail: SalihovMG@volgatech.net

ИЛИВАНОВ Виктор Юрьевич – аспирант кафедры строительных технологий и автомобильных дорог, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – регулирование свойств дорожных битумов и асфальтобетонов, применение местных материалов в дорожном строительстве. Автор восьми публикаций.

E-mail: ilivanovv@rambler.ru

МАЛЯНОВА Лидия Ивановна – аспирант кафедры строительных технологий и автомобильных дорог, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – регулирование свойств дорожных битумов и асфальтобетонов, применение местных материалов в дорожном строительстве. Автор восьми публикаций.

E-mail: malyanova.lidia@mail.ru

UDK 625.8

A WAY TO STUDY THE PROCESS OF AGEING OF ORGANIC CONCRETE AT HIGH TEMPERATURE

M. G. Salikhov, V. Yu. Ilivanov, L. I. Malyanova

Volga State University of Technology,

3, Lenin Sq., Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation

E-mail: SalihovMG@volgatech.net

Keywords: bitum; organic concrete; ageing; high temperature; methods; coefficient and intensity of ageing.

ABSTRACT

Introduction. Ageing of engineering structures made of organic concrete (bitumen is one of the basic elements) is the reason of durability decrease of the structures. However, there are no standard methods to study and to assess the durability of such organic concrete. Authors analyzed advantages and disadvantages of the using methods of study. Major deficiencies of well-known methods of study of ageing of organic concrete are time of work, labor intensity, influence on assessment of scaling factor, necessity to have special equipment which is expensive and not taking into account all the changes of concrete. **The goal** of the research is to elaborate a new methods, which is simple, independence from scale factor and possible to use in the experiments of standard equipment in existing laboratories. **Results.** The offered methods of assessment is based on the results study of laboratory sample of organic concretes by well-known standard methods using standard instruments of existing construction technology laboratory. Assessment of extent of artificial ageing of organic concretes at high temperatures is offered to carry out by means of new dimensionless parameter – coefficient and intensity of ageing. Five stages of experimental work and five stages of analytical actions in comparative assessment of ageing of organic concretes at high temperatures of any composition are given. **Conclusion.** This methods allows to follow the dynamics of ageing of organic concrete and bitumen by treating them at high temperatures, the methods is implemented at the standard equipment to study bitumen and organic concrete.

REFERENCES

1. Tarashchanskiy E.G., Wilmsen I.I. Issledovanie stareniya asfaltobetona impulsnym ultrazvukovym metodom [Study of Asphalt Concrete Ageing by Ultrasonic Pulse Method]. *Povyshenie effektivnosti primeneniya tsementnykh i asfaltovykh betonov v Sibiri: Sb. 3.* [Efficiency Improvement in Usage of Cement Concrete and Asphalt Concrete in Siberia: collected papers 3]. Omsk: SibADI, 1975. Pp. 40-61.
2. Skripkin A.D., Starkov G.B., Kolesnik D.A. Starenie bituma v tekhnologicheskom protsesse ego podgotovki dlya proizvodstva asfaltobetonnykh smesey [Bitumen Ageing in Course of Its Preparation

for Asphalt-Concrete Mixtures Making]. *Sb. statey i dokladov ezhegodnoy nauchnoy sessii. Assotsiatsii issledovateley asfaltobetona* [Collected Papers and Reports of Annual Research Session. Association of Researchers of Asphalt-Concrete]. Moscow: MADG-TU (MADI), 2010. Pp. 46-53.

3. Rybev I.A. *Asfaltovye betony* [Asphalt Concrete]. Moscow: Vysshaya shkola, 1969. Pp. 209-245.

4. Gezentsvey L.B., Gorelyshev N.V., Boguslavskiy A.M., Korolev I.V. *Dorozhnyy asfaltobeton*. Pod red. L.B.Gezentsveya. 2-e izd., perer. i dop. [Road Asphalt-Concrete. Under the editorship of L.B.Gezentsveya. 2d edition, improved and enlarged]. Moscow: Transport, 1985. Pp. 28-29.

5. Atoyanyan S.M. *Asfaltobeton iz rakushechnykh izvestnyakov* [Asphalt Concrete of Shelly Limestone]. Moscow: Transport, 1977. Pp. 67-75.

6. Korolev I.A. *Puti ekonomii bituma v dorozhnom stroitelstve* [Ways to Save Bitumen in Road Construction]. Moscow: Transport, 1985. Pp. 52-80.

7. Rudenskaya I.M., Rudenskiy A.V. *Organicheskoe vyazhushchee dlya dorozhnogo stroitelstva* [Bituminous Binders for Road Construction]. Moscow: Transport, 1984. 229 p.

8. Kalashnikova T.N. *Proektirovanie sostavov dolgovechnykh asfaltobetonov* [Design of Durable Asphalt-Concrete]. *Trudy SoyuzDorNII* [Proceedings of Soyuz DorNII]. Moscow, 1984, poz. 1. Pp. 36-41, 66-71.

9. Zolotarev V.A. *Dolgovechnost dorozhnykh betonov* [Durability of Pavement Concretes]. Khar'kov: Vishhcha shk, 1977. 114 p.

10. Pecheny B.G. *Dolgovechnost bituma i bitumomineralnykh smesey* [Life of Bitum and Bitum-Mineral Mixtures]. Moscow: Stroyizdat, 1981. 123 p.

11. PNST 8-2012. *Dorogi obshchego polzovaniya*. Bitumy neftyanye dorozhnye vyazkie.

Metod opredeleniya soprotivleniya bituma starenuyu pod vozdeystviem vysokoy temperatury i vozdukha (metod RTF OT). EN 12607-2007/ofitsialnoe [PNST 8-2012. Public Roads. Heavy Oil Bitumen. A Method to Define Ageing Resistance of Bitumen under High Temperature and Air (method RTF OT). EN 12607-2007/official]. Moscow: Standartinform, 2014 (introduced by Federal Road Agency on 5.12.2012, № 8-ПИИСТ).

12. Iliopolov S.K., Mardirosova I.V., Uglova E.V., Bezrodnyy O.K. *Organicheskoe vyazhushchee dlya dorozhnogo stroitelstva* [Bituminous Binders for Road Construction]. Rostov-on-Don: DorTrans RGSU- LLC "Izd. Yug", 2003. 428 p.

13. Salikhov M.G., Malyanova L.I. *Izuchenie vliyaniya modifitsiruyushchey dobavki na nekotorye svoystva asfaltobetona s otsevani drobneniya izvestnyakov dlya pokrytiy lesovoznykh dorog* [Study of the Influence of a Modifying Additive on Some Properties of Asphalt Concrete with Sifting Lime-stone for Wood-Transport Road Topping]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2013. № 1 (17). Pp. 64-71.

14. Ilivanov V.Yu., Salikhov M.G. *Issledovanie dolgovechnosti modifitsirovannogo shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona pri deystvii agressivnoy sredy* [Study of Durability of Modified Stone-Mastic Asphalt-Concrete in the Aggressive Medium]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.]. 2013. № 2 (18). Pp. 38-45.

The article was received 30.01.15.

Citation for an article: Salikhov M. G., Ilivanov V. Yu., Malyanova L. I. A way to study the process of ageing of organic concrete at high temperature. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2015. No 1 (25). Pp. 59-65.

Information about the authors

SALIKHOV Mukhammet Gabdulkhayevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head at the Chair of Auto Roads, Volga State University of Technology. Research interests – physical and chemical processes and environmental aspects of production and application of road materials. The author of 205 publications, 13 patents and inventor's certificates of the USSR and RF. E-mail: SalihovMG@volgatech.net

ILIVANOV Viktor Yurievich – Postgraduate Student at the Chair of Construction Technologies and Auto Roads, Volga State University of Technology. Research interests – paving bitumen and bituminous concretes property regulation, application of local materials in road construction. The author of 8 publications. E-mail: ilivanovv@rambler.ru

MALYANOVA Lidiya Ivanovna – Postgraduate student at the Chair of Construction Technologies and Auto Roads, Volga State University of Technology. Research interests – adjusting of properties of road bitumen and bituminous concretes, application of local materials in road construction. The author of eight publications. E-mail: malyanova.lidia@mail.ru

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ. БИОТЕХНОЛОГИИ

УДК 630*182:581.524.32

ВЛИЯНИЕ АЭРАЛЬНОГО ПОСТУПЛЕНИЯ ВЕЩЕСТВ НА ИХ КРУГОВОРОТ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

Ю. П. Демаков^{1,2}, А. В. Исаев²

¹Поволжский государственный технологический университет,
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
E-mail: DemakovYP@volgatech.net

²Государственный природный заповедник «Большая Кокшага»,
Российская Федерация, 424038, Йошкар-Ола, ул. Воинов-Интернационалистов, 26
E-mail: avsacha@yandex.ru

Приведены результаты анализа литературных источников по оценке аэрального поступления веществ в лесные экосистемы и их трансформации пологом древостоя. Показано, что атмосферные осадки с момента своего соприкосновения с пологом леса включаются в состав биогеоценоза. Проходя сквозь полог леса, они существенным образом изменяют свой состав, не только смывая с листьев осевшую пыль, но и насыщаясь продуктами метаболизма растений и других организмов. Описаны результаты опытов по оценке рассеивания пылевых выбросов завода силикатного кирпича с использованием тканевых повязок и влияния экзометаболитов деревьев, растворённых атмосферными осадками, на разложение хлопчатобумажной ткани в различных биотопах. Сделан вывод о том, что деревья сами регулируют процесс своего минерального питания и биологический круговорот веществ в лесных экосистемах, выделяя через поверхность листьев, ветвей и ствола необходимые экзометаболиты, состав и концентрация которых зависят как от вида древесного растения, так и от условий среды.

Ключевые слова: лесные экосистемы; атмосферные осадки; химический состав; трансформация в пологе древостоя; хлопчатобумажная ткань; круговорот веществ.

Введение. Лесные биогеоценозы являются открытыми сложными саморазвивающимися системами, устойчивое функционирование которых обеспечивается благодаря непрерывному круговороту веществ и трансформации их в различных цепях питания. Несмотря на то, что изучением этого вопроса учёные занимаются давно [1–16] и многие фундаментальные выводы уже сделаны, в нём остаются ещё

«белые пятна». Особенно слабо изучены аспекты влияния аэрального поступления веществ из природных и техногенных источников на различные звенья биологического круговорота и его интенсивность [17–19].

Цель работы – аналитический обзор литературы по массе и химическому составу атмосферных осадков, их трансформации в пологе древостоя и роли в

© Демаков Ю. П., Исаев А. В., 2015.

Ссылка на статью: Демаков Ю. П., Исаев А. В. Влияние аэрального поступления веществ на их круговорот в лесных экосистемах // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 1 (25). – С. 66-86.

биологическом круговороте веществ, постановка натуральных и лабораторных экспериментов по оценке воздействия экзотаболитов растений на разложение опада и содержание подвижных элементов в почве разных биотопов.

Состояние вопроса. Одной из основных движущих сил биологического круговорота являются растения, химический состав которых является переменной величиной, зависящей от одновременно действующих генетических, физиологических и экологических факторов [20–23]. Генетические факторы контролируют избирательность поглощения элементов различными видами растений, физиологические же зависят от их возраста и жизненного состояния, а экологические включают в себя все источники корневого и внекорневого поступления химических элементов в растения (почвы, почвенные и подземные воды, атмосферные газы, жидкие осадки и пыль), масса которых зависит от физико-географических особенностей территории. Способность растений поглощать различные химические элементы из почвы, почвообразующих пород, атмосферы и грунтовых вод приводит к тому, что они перемещаются из одного компонента экосистемы и ландшафта в другой [24–28].

Важную роль в биологическом круговороте играют атмосферные осадки и аэрозоли, масса и химический состав которых значительно изменяются как в пространстве, так и во времени под действием многих факторов: ветровых выносов в атмосферу пылевых частиц, поступления солей с поверхности морей и океанов, вулканической и техногенной деятельности, прохождения метеорных потоков [29, 30]. Так, Н.И. Пьявченко и З.А. Сибирева [31] установили, что на поверхность болот ежегодно выпадет вместе с осадками 106–164 кг пыли и 8–11 кг общего азота в переводе на 1 га. Последующие исследования [32], проведённые на болотах Вологодской и Томской областей, показали, что аэральные поступления достигают

даже 277–327 кг/га. Минерализация атмосферных осадков на территории европейской части России изменяется от 10 до 25 мг/л, достигая в ряде случаев 100 мг/л [33, 34]. В Московской области, по данным многолетних наблюдений [35], с осадками ежегодно выпадает от 60 до 470 кг/га химических элементов и соединений: SO_4 – 106,5; Cl – 26,5; HCO_3 – 24,9; Mg – 17; Ca – 12,2; N – 9,4; Na – 5,3; K – 5,0 и P – 0,3. В Эстонии же, по данным Т.Е. Саарман [36], с атмосферными осадками ежегодно в почву поступает в общей сложности 28,9 кг/га элементов и веществ, в том числе S – 11,6; Ca – 5,8; Mg – 3,4; N – 2,8; Cl – 2,5; K – 2,0; Fe – 0,7 и P – 0,09. Исследования Т.В. Глуховой [37], проведённые в Калининской области на Западно-Двинском стационаре ИЛ РАН, показали, что в болота с осадками поступает ежегодно 42,2 кг/га различных элементов и соединений, в том числе SO_4 – 13,1; HCO_3 – 10,2; NO_3 – 4,7; Ca – 4,4; NH_4 – 3,3; K – 2,6; Na – 2,5; Cl – 1,4.

Атмосферные осадки с момента своего соприкосновения с пологом леса включаются в состав биогеоценоза, представляя не только необходимую всем организмам влагу, но и определённую часть химических элементов [31, 38–45]. Проходя сквозь полог леса, они существенным образом изменяют свой состав, не только смывая с листьев осевшую пыль, но и насыщаясь продуктами метаболизма растений и других организмов, а также выщелачивая часть химических элементов из живых клеток, активно воздействуя на биологический круговорот веществ. Исследователи, занимавшиеся этим вопросом [46–73], отмечают подкисление стекающих по стволам деревьев дождевых вод органическими и минеральными кислотами, которое способствует переводу содержащихся в подстилке и почве химических соединений в доступную для корней растений форму, а также увеличение концентрации многих химических элементов. Наибольшее содержание азота, гидрокарбонатов, серы,

сульфатов, калия, кальция, натрия, марганца, железа, цинка и меди наблюдается в подкроновых осадках.

Факт трансформации растительностью состава атмосферных осадков установлен исследователями давно. Так, В.И. Мина [49] отмечает, что еще в 1804 году Th. Saussure писал о вымывании солей из листьев растений дождевой водой, а в 1883 году С. Counciler экспериментально подтвердил это явление. Интересно отметить, что процесс трансформации химического состава осадков происходит не только в тёплое время года, но и даже зимой, хотя и менее интенсивно [42, 69, 70]. Количество вымываемых из растений веществ довольно велико и исключать его при изучении биологического круговорота в лесных экосистемах нельзя.

Многими исследователями установлено, что степень трансформации состава атмосферных осадков зависит от их частоты и интенсивности, строения и степени сомкнутости древесного полога, вида древесных растений, а также фазы их сезонного развития, однако полученные ими результаты далеко не всегда совпадают между собой. Так, к примеру, И.К. Свиридова [46] отмечает, что в подкроновых осадках калия больше всего содержится в начале вегетационного периода, а кальция, магния и серы – в его конце. Под кронами осин, по её данным, дождевая вода более насыщена кальцием, чем под кронами сосен. По данным же других авторов [56, 72], характер сезонной динамики концентрации этих элементов в подкроновых осадках и воздействия древесных растений совершенной иной. В подмосковных смешанных лесах наибольшая концентрация кальция, калия и магния отмечена в дождевой воде под деревьями липы [49]. Установлено также, что под кроны сосняков и ельников черничных этих элементов поступает больше, чем под кроны ельников кисличных и березняков разнотравных. В ельнике кисличном с мая по сентябрь 1966 года из крон деревьев было вымыто 32,1 кг/га

различных элементов, а в однотипном березняке на 14,7 кг/га меньше [56]. В среднетаёжных лесах концентрация калия в дождевой воде под деревьями ели в течение трёх лет наблюдений была значительно выше, чем под деревьями сосны, берёзы и осины [70]. Ранговое положение пород деревьев по концентрации других химических элементов и соединений изменялась по годам. Так, к примеру, концентрация в подкроновых осадках кальция в 1996 году наибольшей была под деревьями осины, в 1997 – сосны, а в 1998 – берёзы. Концентрация анионов HCO_3 в 1996 и 1997 гг. была больше всего под деревьями осины, а в 1998 году – под деревьями ели. В северо-таёжных ельниках концентрация многих химических элементов в подкроновых осадках значительно выше, чем в сосняках: калия, к примеру, в ельниках вместе с осадками выпадает 8,50 кг/га, а в сосняках всего 2,46 кг/га [69]. Аэральные поступления S, Ca, Mg, Fe и Si превышают ежегодное их потребление лесом, а поступления же N, K и особенно P, наоборот, недостаточны для удовлетворения потребностей растений [74, 75].

Оценку аэральное поступления химических элементов в лесные экосистемы проводят в настоящее время на основе анализа проб атмосферных осадков, количество и состав которых подвержены весьма большим флуктуациям, что усложняет проведение исследований. Данный метод, кроме того, не позволяет оценить активность водорастворимых экзометаболитов растений, с помощью которых они выводят химические элементы из опада и лесной подстилки, т.е. отмерших растительных остатков, вовлекая их в биологический круговорот. В дополнение к химическому анализу жидких атмосферных осадков нами разработан метод тканевых повязок [76], который оказался весьма результативным при изучении биологического круговорота [77–79].

При техногенном загрязнении окружающей среды, масштабы и темпы которого неуклонно увеличиваются, биологи-

ческая продуктивность и характер функционирования лесных экосистем существенным образом изменяются [80–85], что обуславливает необходимость проведения фундаментальных исследований, важной частью которых является определение массы выпадающих поллютантов. Решение этой задачи осложняется как неравномерным распределением загрязняющих веществ в пространстве биотопа, так и разной аккумулирующей способностью различных компонентов биогеоценоза (крона, хвоя, ствол, подстилка, почва). Так, по данным Н.В. Коровина и его коллег [86], общая масса сернистого газа распределяется по вертикальному профилю сосновых насаждений в виде перевернутого конуса: в верхней части полога задерживается 55 % поллютанта, в нижней части полога – 28 %, осаждается на почву – 17 %. Масса же отфильтрованной пыли распределяется по вертикальному профилю древостоя в обратном порядке: в верхней части полога – 12, в нижней – 32, на почву – 56 %. Следует также отметить, что наиболее эффективно пылевые частицы накапливаются в хвое внутренней части кроны [87]. Воздухоочистительные функции сосновых насаждений зависят при этом и от времени года: 70 % массы SO_2 приходится на холодный период года, а 73 % пыли осаждается, наоборот, в теплый период [86]. В приствольном и подкороновом пространстве спелых и перестойных древостоев поллютантов содержится гораздо больше, чем в разрывах полога [84].

Выбор метода для учёта массы выпадающего загрязнителя зависит, в первую очередь, от его природы и агрегатного состояния. Наиболее широко распространён метод определения количества загрязняющих веществ при помощи химического анализа снега, который является активным сорбентом [84, 88–90]. Этот метод достаточно эффективен, однако в зимнее время некоторые заводы снижают производственную мощность, что не позволяет в полной мере учитывать

степень их воздействия на окружающую среду. Для оценки количества взвешенной в воздухе пыли некоторые исследователи используют стеклянные банки или полиэтиленовые сосуды, подвешенные на деревьях или установленные на шестах высотой 1,5 м [91, 92]. Этот метод, однако, в очень сильной степени зависит от количества выпадающих атмосферных осадков и при очень дождливой погоде ёмкости быстро переполняются водой. Хорошо зарекомендовал себя метод оценки содержания сернистого газа в атмосфере при помощи пассивных окисно-свинцовых поглотителей [93]. В качестве чутких датчиков поллютантов могут выступать также тканевые мешочки, наполненные мхами [94, 95], которые обладают способностью накапливать загрязняющие вещества в больших количествах, однако обильные осадки уменьшают их содержание примерно на 20–40 %. Эффективным является также метод определения загрязнения окружающей среды аэротехногенной пылью по смывам с листьев растений [96]. Вода, однако, удаляет только часть осаждённой на их поверхность пыли и поэтому вместо неё используют слабые растворы кислот, либо хлороформ, которые, вместе с тем, растворяют восковый слой кутикулы и извлекают связанные ей химические элементы [97], что является недостатком метода. Другим недостатком этого метода является трудность определения времени и интенсивности промывания листьев, необходимых для полного извлечения загрязняющих веществ.

На основании анализа литературных источников можно сделать вывод о том, что задача о влиянии аэрального поступления веществ в лесные экосистемы на круговорот веществ в них является довольно сложной, требующей комплексного подхода и использования самых разнообразных методов и приёмов, которые по мере развития техники и технологии должны совершенствоваться. Необходимо также постоянно расширять географию объектов исследования, постепенно охва-

тывая все природные зоны и регионы мира, и сеть стационарных пробных площадей, на которых следует ежегодно оценивать не только количество атмосферных осадков и их химический состав, но и состояние лесных экосистем, в том числе прирост биомассы.

Объекты и методика исследования.

Полевые опыты были проведены в 2011–2014 гг. в различных биотопах, находящихся как в зоне техногенного загрязнения, так и вдали от неё. В качестве тест-объектов были использованы полотна хлопчатобумажной ткани (бязи) размером 40x150 см и массой 70 г, которыми мы обвязывали стволы деревьев на высоте 2–2,5 м от поверхности земли. В 2011 году опыт был поставлен в зоне воздействия пылевых выбросов Марийского завода силикатного кирпича. Основным компонентом выбросов завода является оксид углерода и пыль неорганическая, содержащая оксид кремния и кальция [78]. Достаточно много в выбросах содержится также оксида азота. В небольших количествах в их состав входят газообразные соединения серы и фтора, сажа, пыль абразивная и древесная, соединения марганца и железа. Полотнами ткани здесь были обвязаны стволы деревьев сосны на разном удалении от источника загрязнения (по три дерева на девяти учётных лентах, расстояние которых от завода изменялось от 80 до 1500 м).

В 2012–2014 гг. опыты, цель которых заключалась в оценке изменения зольного состава образцов хлопчатобумажной ткани под влиянием атмосферных осадков и экзометаболитов древесных растений, были проведены на территории заповедника «Большая Кокшага». Полотнами ткани здесь мы обвязывали стволы деревьев, произрастающих в различных биотопах (по три дерева в каждом): сосняке лишайниковом, лишайниково-мшистом, брусничном, черничном и сфагновом, березняке черничном, пойменном липняке крапивном с дубом и елью, а также на пойменной поляне. В сосняке лишайниково-мшистом образцы ткани были дополни-

тельно установлены горизонтально на четырёх колышках высотой 50 см. На пойменной луговой поляне ткань обвязывали верхнюю часть вешек высотой 2 м. Все образцы находились в биотопах с мая по сентябрь, подвергаясь воздействию дождя, солнца и других факторов среды. Образцы ткани были оставлены также в качестве контроля в лаборатории и помещены в полиэтиленовых пакетах в металлический шкаф. В 2012 году образцы ткани для лучшего впитывания воды были предварительно выстираны с порошком на машинке. В другие же годы этой операции не проводили.

После окончания вегетационного сезона образцы ткани собирали и по типовым методикам [98, 99] в лаборатории Центра коллективного пользования научным оборудованием Поволжского государственного технологического университета проводили пробоподготовку и химический анализ (химик-аналитик В.И. Таланцев): высушивали в шкафу при температуре $105\pm 2^\circ\text{C}$ до постоянной массы, взвешивали на электронных аналитических весах VibraHT/HTR-120E (Shinko-Densy, Japan, 2008) с точностью до 0,0001 г, измельчали, помещали в фарфоровые тигли и озоляли в муфельной печи при температуре $500\pm 10^\circ\text{C}$ в течение 8 часов. После озоления тигли помещали в эксикаторы с безводным хлоридом кальция для охлаждения, после которого определили массу золы и вычисляли зольность образцов. Полученную золу растворяли в смеси кислот: 1 мл концентрированной химически чистой азотной и 3 мл концентрированной особо чистой соляной. Полученные растворы пропускали в мерные колбы через обеззоленные фильтры и разбавляли дистиллированной водой, доводя объём до 25 мл. Определение содержания в золе ионов металлов проводили на атомно-абсорбционном спектрометре AAnalyst 400 (PerkinElmer, USA, 2008) методом градуировочного графика, для построения которого использованы государственные стандартные образцы растворов с гаран-

тийным сроком годности. Стандартные калибровочные растворы и растворы исследуемых образцов вводили в пламя горелки последовательно через распылительное устройство. В качестве горючего газа использовали ацетилен, газ-окислителя – воздух, а калибровочного раствора – 0,1 М раствор HNO_3 . Всю мерную посуду (пипетки, колбы) предварительно калибровали по дистиллированной воде. Каждую пробу анализировали на спектрометре три раза и вычисляли среднее значение по образцу. Погрешность измерения концентрации ионов большинства металлов не превышала 5 %.

В 2014 году был проведён также химический анализ растворов, полученных в результате вымачивания в воде листьев различных растений. Для этой цели брали их образцы массой 5 г в естественном (невысушенном) состоянии, заливали дистиллированной водой объёмом 100 мл и выдерживали в течение 24 часов.

Полученный цифровой материал обработан на компьютере с использованием стандартных методов математической статистики и пакетов прикладных программ Excel и STATISTICA.

Результаты опытов и их интерпретация. Химический анализ контрольных образцов ткани показал, что они характеризуются крайне низкой зольностью (табл. 1). Основным из оцененных нами элементов является кальций, составляющий основу оболочки растительных клеток. Второе и третье места в ранговом ряду элементов занимают калий и железо. На порядок меньше содержится в ней марганца и цинка. Замыкают ранговый ряд элементов стронций, свинец и никель. Содержание в бязи зольных элементов не явля-

ется постоянным, что связано, вероятно, с особенностями исходного сырья (хлопка) и технологии её изготовления. Особенно сильно варьирует в ткани содержание кальция (в 6,7 раза), никеля (8,4 раза) и марганца (в 23 раза!). Этот факт указывает на то, что при оценке загрязнения окружающей среды и кроновых выделений деревьев с помощью образцов хлопчатобумажной ткани нельзя оперировать абсолютными величинами содержания в них химических элементов, а необходимо использовать относительные показатели.

Опыт, проведённый в зоне воздействия пылевых выбросов Марийского завода силикатного кирпича, показал высокую эффективность использования метода тканевых повязок. Так, в непосредственной близости от завода содержание в ткани золы и многих зольных элементов значительно выше, чем в контрольном образце (табл. 2). Основным компонентом выбросов, исходя из специфики производства, является кальций, содержание которого в ткани на примыкающей к источнику загрязнения полосе в 475 раз выше, чем в контрольном образце, и в 172,5 раза превышает фоновый уровень. На втором месте по превышению концентрации над фоном находится стронций, содержащийся вместе с кальцием в исходном сырье. Третье и четвертое места в ранговом ряду элементов занимают железо и никель. Содержание в ткани других элементов на прилегающем к заводу участке в 3,1–8,1 раза выше, чем в контрольном образце. Замыкают ранговый ряд элементов свинец, калий, хром и медь. В бязевых повязках выявлены многие элементы, не вошедшие в перечень загрязняющих веществ, разрешённых к выбросу заводом силикатного кирпича.

Таблица 1

Содержание зольных элементов в контрольных образцах хлопчатобумажной ткани разных лет

Год	Зола, %	Содержание химических элементов в образцах ткани, мг/кг								
		Ca ²⁺	K ⁺	Fe ³⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Sr ²⁺	Pb ²⁺	Ni ²⁺
2011	0,200	86,80	19,26	10,63	1,366	0,636	0,602	0,337	0,413	0,034
2012	0,107	226,7	15,61	14,30	0,755	2,553	0,596	0,252	0,162	0,285
2013	0,170	547,6	25,22	12,53	2,086	0,401	0,276	0,357	0,104	0,140
2014	0,297	82,10	16,33	7,28	0,090	0,126	0,222	0,422	0,064	0,041

Таблица 2

Градиентное изменение содержания зольных элементов в тканевых повязках

Элемент	Относительное содержание элементов на разном удалении от завода, доля единицы								
	80 м	100 м	110 м	130 м	190 м	280 м	340 м	390 м	1500 м
Зола	47,1	28,8	24,6	13,6	11,9	8,5	3,9	4,2	1,6
Ca ²⁺	474,9	388,4	298,0	217,5	140,2	125,8	86,9	37,6	2,8
Sr ²⁺	107,4	70,7	60,6	32,4	28,3	19,4	6,7	7,0	1,5
Fe ³⁺	27,7	20,0	16,9	14,8	11,2	9,7	6,7	6,2	4,5
Ni ²⁺	15,9	12,5	9,8	7,6	6,7	5,9	4,8	4,3	3,6
Zn ²⁺	8,1	6,4	5,5	6,3	4,6	4,8	3,3	2,9	1,8
Co ²⁺	7,7	5,0	4,5	3,2	2,8	2,3	1,7	1,7	1,1
Mn ²⁺	7,5	6,8	5,2	6,3	4,7	4,5	5,2	3,3	1,6
Cd ²⁺	7,3	4,6	4,0	3,1	2,7	2,4	2,1	1,7	1,2
Pb ²⁺	5,3	4,0	3,2	2,5	2,2	1,9	1,4	1,5	1,1
K ⁺	4,1	3,0	3,1	3,7	2,7	2,2	1,7	2,3	1,6
Cr ²⁺	3,6	1,4	2,0	1,3	1,3	1,4	1,3	1,4	1,2
Cu ²⁺	3,1	2,7	2,1	2,6	1,5	1,8	1,6	1,3	1,3

Приведённые данные показывают, что по мере удаления от завода содержание химических элементов в образцах ткани резко снижается. Эту зависимость с очень высокой точностью аппроксимирует уравнение Ципфа-Парето

$$Y = (K - m) \cdot \exp[-a \cdot 10^{-3} \cdot (X - 80)] + m,$$

в котором Y – относительное содержание элемента в ткани, доля единицы; X – расстояние от источника загрязнения, м; K – относительное содержание элемента в ткани на расстоянии 80 м от источника загрязнения (на опушке леса); m – относительное содержание элемента в ткани на

фоновом участке; a – коэффициент интенсивности убывания содержания элемента в ткани с расстоянием. Значения параметров этого уравнения для различных зольных элементов представлены в табл. 3. Наиболее быстро в выбросах убывает содержание хрома, концентрация которого в образцах стабилизируется уже со 110–120 м. Медленнее же всего снижается концентрация в ткани марганца, цинка и калия. Стабилизация концентрации большинства зольных элементов происходит на расстоянии 400–700 м от источника загрязнения.

Таблица 3

Параметры уравнения, отображающего характер изменения содержания золы и зольных элементов в тканевых повязках в градиенте загрязнения

Элемент	Значения параметров уравнения у разных химических элементов							
	K	m	a	R^2	$F_{\text{факт.}}$	L_{50}	L_{10}	L_5
Зола	47,1	1,6	22,25	0,941	42,20	111	183	215
Ca ²⁺	474,9	2,8	11,01	0,933	36,84	143	289	352
Sr ²⁺	107,4	1,5	18,82	0,942	42,97	117	202	239
Fe ³⁺	27,7	4,5	14,47	0,922	31,27	128	239	287
Ni ²⁺	15,9	3,6	17,77	0,927	33,60	119	210	249
Zn ²⁺	8,1	1,8	4,84	0,763	8,52	223	556	699
Co ²⁺	7,7	1,1	19,85	0,908	26,11	115	196	231
Mn ²⁺	7,5	1,6	3,70	0,793	10,14	267	702	890
Cd ²⁺	7,3	1,2	22,61	0,875	18,52	111	182	212
Pb ²⁺	5,3	1,1	17,59	0,924	32,17	119	211	250
K ⁺	4,1	1,6	7,97	0,797	10,39	167	369	456
Cr ²⁺	3,6	1,2	70,53	0,895	22,55	90	113	122
Cu ²⁺	3,1	1,3	12,00	0,847	14,65	138	272	330

Примечание: K , m , a – коэффициенты регрессии, смысл которых отражён в тексте статьи; R^2 – коэффициент детерминации уравнения; $F_{\text{факт.}}$ – фактическое значение критерия Фишера ($F_{0,05} = 5,59$); L – расстояние (м), на котором содержание элемента составляет 50, 10 и 5 % от величины, зафиксированной в 80 м от завода.

Довольно слабое распространение выбросов завода подтверждает также анализ космического снимка, проведённый сотрудниками ПГТУ [100], который показал, что в пределах первой санитарно-защитной зоны (СЗЗ) с внешней границей, отстоящей на расстоянии 300 м от территории завода, 49 % насаждений не имеют признаков загрязнения. Во второй СЗЗ радиусом 500 м доля незагрязнённых насаждений составляет уже 73,5 %. Вместе с тем отдельные пятна загрязнения встречаются далеко за пределами этой СЗЗ, образуя «кружевной» ареал. Причиной слабого распространения выбросов по территории является небольшая высота трубы, лишь немногим превышающая высоту примыкающего к территории завода древостоя. Когда облако пыли соприкасается с кронами деревьев, оно сразу же прекращает поступательное движение, т.к. под пологом древостоя скорость ветра быстро снижается. Изменение содержания зольных элементов в образцах ткани происходит не только из-за рассеивания выбросов, но и в результате трансформации их в пологе леса, а также выделения экзометаболитов деревьев, о чём пойдет речь далее.

Результаты опыта, проведённого на территории заповедника «Большая Кокшага», находящегося далеко от источников техногенного загрязнения, были совершенно иные и были для нас вначале неожиданными. Оказалось, что атмосферные осадки, проходя сквозь полог древостоя, приводили к существенному снижению содержания в образцах ткани некоторых зольных элементов, особенно кальция и сопутствующего ему стронция: потери относительно контрольного образца достигали иногда более 90 % (табл. 4). Эффект снижения содержания этих элементов в хлопчатобумажной ткани происходит не в результате обычного выноса с атмосферными осадками (вымывания) как в почве, а представляет собой сложный процесс их отщепления от целлюлозы,

связанный с разрывом атомно-молекулярных связей. Для разрыва этих связей требуется значительное воздействие достаточно мощных реагентов, в качестве которых вероятнее всего выступают определённые ферменты, поступающие в атмосферные осадки из крон деревьев. Состав ферментов нам пока неизвестен, но факт их наличия не вызывает у нас сомнений. Одним из аргументов в пользу этого высказывания являются различия в интенсивности вымывания кальция и стронция в различных биотопах. Особенно значительные потери происходили в березняках, следом за которыми с небольшим отставанием следовали сосняки. Меньше всего этих элементов было вымыто из образцов ткани в пойменном биотопе, а также на безлесном участке, хотя их потери здесь тоже были довольно значительными.

На интенсивность вымывания кальция из хлопчатобумажной ткани оказывает влияние не только состав древостоя, но также тип условий его произрастания и погодные условия. Так, в 2014 году, вегетационный период которого отличался от предшествующих лет меньшим количеством выпавших осадков, потери кальция из образцов ткани были менее значительными. Наиболее сильное вымывание из ткани кальция произошло в сосняке лишайниково-мшистом (81 %), а самое слабое – в сосняке сфагновом (57 %). В 2012 году из образцов произошло также вымывание других зольных элементов: никеля (39–75 %), цинка (59–72 %), свинца (57–65 %), меди (26–62 %) и железа (14–34%). В 2013 году отмечалось вымывание, кроме кальция и стронция, только меди (23–50 %). В 2014 году значительное вымывание ионов меди произошло только в сосняке сфагновом (52 %). В остальных же биотопах их содержание либо незначительно возросло, либо существенно не изменялось по сравнению с контрольным образцом.

Таблица 4

Относительное содержание зольных элементов в повязках хлопчатобумажной ткани из разных биотопов

Биотоп	Содержание элементов в ткани по отношению их к контрольному образцу, доля единицы									
	Зола	Ca ²⁺	K ⁺	Fe ³⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Ni ²⁺	Pb ²⁺	Sr ²⁺
<i>Результаты опыта, проведённого в 2012 году</i>										
Березняк черничный	0,60	0,06	2,16	0,71	15,30	0,36	0,24	0,25	0,36	0,04
Сосняк лишайниково-мшистый	0,65	0,14	1,66	0,86	2,28	0,32	0,46	0,61	0,35	0,06
Сосняк брусничный	0,72	0,12	1,46	0,87	2,62	0,28	0,37	0,36	0,39	0,05
Пойменный древостой (липа)	0,90	0,64	4,86	0,66	1,58	0,41	0,38	0,38	0,43	0,61
НСР_{0,05}	0,10	0,08	1,24	0,10	3,36	0,17	0,06	0,15	0,14	0,12
<i>Результаты опыта, проведённого в 2013 году</i>										
Березняк черничный	0,47	0,04	2,97	1,43	6,87	2,00	0,50	0,56	1,15	<0,01
Сосняк лишайниково-мшистый	0,56	0,08	1,28	1,53	1,38	1,28	0,71	0,82	1,03	<0,01
Сосняк (горизонталь)*	1,47	0,14	3,43	4,62	5,74	10,22	0,77	2,20	4,58	<0,01
Пойменный древостой (липа)**	0,70	0,33	4,54	1,13	1,14	1,07	0,56	0,94	0,82	0,73
Пойменный древостой (дуб)**	0,71	0,22	6,09	1,45	1,95	1,25	0,74	2,33	0,88	0,34
Пойменный древостой (ель)**	0,61	0,20	5,29	1,46	1,07	1,82	0,68	0,96	1,42	0,35
Пойменный луг	0,64	0,23	2,18	1,65	2,75	1,53	0,60	2,14	1,26	0,14
НСР_{0,05}	0,16	0,05	1,65	0,25	1,08	0,48	0,16	1,06	0,40	0,24
<i>Результаты опыта, проведённого в 2014 году</i>										
Сосняк лишайниковый	1,23	0,25	3,50	2,11	11,02	4,25	0,96	2,12	-	0,41
Сосняк лишайниково-мшистый	2,61	0,19	3,22	1,89	23,43	3,08	1,34	1,32	-	0,35
Сосняк черничный	1,83	0,32	3,28	1,70	18,10	2,77	0,87	4,24	-	0,31
Сосняк сфагновый	1,54	0,43	2,76	2,01	6,16	3,44	0,48	1,54	-	0,30
Сосняк липняковый	2,13	0,22	2,62	2,22	21,96	5,82	1,12	1,77	-	0,42
НСР_{0,05}	0,51	0,09	0,54	0,37	6,64	0,61	0,31	1,26	-	0,03

Примечание: НСР_{0,05} – наименьшая существенная разность на 5 %-м уровне значимости; * – образцы ткани, установленные горизонтально на кольшах в сосняке лишайниково-мшистом; ** – образцы ткани, которыми были обвязаны стволы деревьев в пойменном биогеоценозе.

Таблица 5

Химический состав водных растворов, в которых вымачивались образцы листьев растений

Растение	рН	Содержание элементов в растворе, мг/л						
		Ca ²⁺	K ⁺	Fe ³⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Ni ²⁺
Сосна	6,66	420,7	4393,0	0,000	12,19	1,049	0,086	0,695
Ель	6,46	71,87	508,3	0,000	21,08	1,274	0,099	0,000
Берёза	6,77	245,0	1358,0	0,000	102,0	6,792	0,000	0,000
Липа	7,11	2519,0	4350,0	3,928	75,23	1,674	1,326	0,654
Дуб	6,61	438,0	2794,0	1,717	67,66	0,613	0,065	1,084

В образцах ткани происходило и повышение содержания ряда металлов, главным образом калия и марганца, которые находятся в клетках растений в свободной ионной форме [101] и легко вымываются из крон деревьев атмосферными осадками (табл. 5). Калия больше всего накапливалось в образцах, помещённых в пойменном биотопе, особенно на деревьях дуба. Меньше всего его содержание увеличивалось в сосняках, однако в 2014 году оно было в них значительно больше, чем в предшествующих 2012 и 2013 гг. Очень сильно варьировало в образцах ткани содержание марганца: в 2012 и 2013 гг. оно было наиболее высоким в березняке, а в 2014 году резко возросло в сосняках, особенно в лишайниково-мшистом и липняковом (в 22–23 раза выше, чем в контрольном образце!). Причину такого изменения мы объяснить пока не можем.

Большое влияние на зольный состав хлопчатобумажной ткани оказывало, как было установлено в опыте, положение образцов в биотопе. В ткани, натянутой на колышки горизонтально, содержание всех зольных элементов, кроме меди, было выше по сравнению с повязками на стволах деревьев. Это связано, на наш взгляд, с двумя причинами: 1) с привнесением на данные образцы, имеющие, по сравнению с повязками, большую площадь поверхности соприкосновения со средой, значительной массы пыли; 2) с меньшей насыщенностью атмосферных осадков, прошедших только сквозь полог древостоя, экзометаболитами растений по сравнению с водой, стекающей по стволам деревьев.

Проведённые нами опыты, таким образом, не только подтвердили имеющиеся

факты о значительной трансформации атмосферных осадков, проходящих сквозь полог леса, но также позволили впервые выявить вымывание ими ряда зольных элементов из отмершего органического волокна, происходящее не в результате воздействия различных кислот, чего фактически не наблюдается, а под влиянием выделившихся ионов металлов и экзометаболитов растений, способствующих разложению опада и ускорению биологического круговорота в лесных экосистемах. Имеющиеся у нас факты позволяют высказать предположение о том, что деревья сами регулируют процесс своего минерального питания, выделяя через поверхность листьев, ветвей и ствола необходимые экзометаболиты, состав и концентрация которых зависит не только от вида древесного растения, но и от условий среды. Активность экзометаболитов деревьев, по нашему мнению, наиболее велика в тех древостоях, где имеется острый дефицит элементов питания.

Заключение. Анализ литературы и материалов собственных исследований показал, что задача о влиянии аэрального поступления веществ в лесные экосистемы на круговорот веществ в них является довольно сложной, требующей комплексного подхода и использования самых разнообразных методов и приёмов, которые по мере развития техники и технологии должны неуклонно совершенствоваться.

Атмосферные осадки, количество и состав которых значительно флуктуируют в пространстве и времени, проходя через полог леса, существенным образом изменяют свой состав, активно воздействуя на все биоценологические процессы. Степень

трансформации химического состава осадков, происходящей не только в тёплое время года, но и даже зимой, зависит, при этом, как от их частоты и интенсивности, так и вида древесных растений, фазы их сезонного развития и условий произрастания.

Для оценки аэрального поступления химических элементов в лесные экосистемы и трансформации состава атмосферных осадков, проходящих сквозь полог леса, нами разработан и опробован в реальных условиях метод тканевых повязок, который дополняет существующие методы, позволяя оценивать активность водорастворимых экзометаболитов растений по вовлечению в биологический круговорот химических элементов, содержащихся в подстилке.

Результаты проделанной нами работы свидетельствуют о разном влиянии пород деревьев на изменение зольного состава

растительного волокна (целлюлозы), происходящее под действием атмосферных осадков и экзометаболитов растений и заключающееся, прежде всего, в вымывании из него кальция и стронция. Установлено, что больше всего этих элементов вымывается из ткани в березняках и сосняках, произрастающих на бедных песчаных почвах, где имеется острый дефицит элементов минерального питания растений. В пойменном же древостое, где этого дефицита не наблюдается, процесс вымывания кальция и стронция протекает очень слабо. Деревья, таким образом, сами регулируют процесс своего минерального питания и биологический круговорот веществ в лесных экосистемах, выделяя через поверхность листвы, ветвей и ствола необходимые экзометаболиты, состав и концентрация которых зависит как от вида древесного растения, так и от условий среды.

Список литературы

1. Смирнова, К. М. Круговорот азота и зольных элементов в ельниках сложных / К.М. Смирнова // Вестник МГУ. – 1951. – № 10. – С. 103-122.
2. Смирнова, К. М. Потребление и круговорот элементов питания в березовом лесу / К.М. Смирнова, Г.А. Городенцева // Бюллетень МОИП. Отделение биологии. – 1958. – Т. 63, вып. 2. – С. 135-146.
3. Базилевич, Н. И. Особенности малого биологического круговорота в различных почвенно-растительных зонах / Н.И. Базилевич, Л.Е. Родин // Доклады АН СССР. – 1954. – Т. ХСVII, № 6. – С. 1061-1064.
4. Базилевич, Н. И. Особенности круговорота зольных элементов и азота в некоторых почвенно-растительных зонах СССР / Н.И. Базилевич // Почвоведение. – 1955. – № 4. – С. 1-32.
5. Базилевич, Н. И. Продуктивность и круговорот элементов в естественных и культурных фитоценозах (по материалам СССР) / Н.И. Базилевич, Л.Е. Родин // Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. – Л.: Наука, 1971. – С. 5-32.
6. Мина, В. Н. Круговорот азота и зольных элементов в дубравах лесостепи / В.Н. Мина // Почвоведение. – 1955. – № 6. – С. 32-44.
7. Ремезов, Н. П. Потребление и круговорот азота и зольных элементов в лесах европейской части СССР / Н.П. Ремезов, Л.Н. Быкова, К.М. Смирнова. – М.: МГУ, 1959. – 284 с.
8. Марченко, А. И. Минеральный обмен в еловых лесах северной тайги и лесотундры Архангельской области / А.И. Марченко, Е.И. Карлов // Почвоведение. – 1962. – № 7. – С.52-67.
9. Родин, Л. Е. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара / Л.Е. Родин, Н.И. Базилевич. – М.-Л.: Наука, 1965. – 253 с.
10. Абатуров, Ю. Д. Некоторые особенности биологического круговорота азота и зольных элементов в сосняках Южного Урала / Ю.Д. Абатуров // Труды Ин-та биологии УФ АН СССР. – Свердловск: УФ АН СССР, 1966. – Вып. 55. – С. 69-79.
11. Пьявченко, Н. И. Биологическая продуктивность и круговорот веществ в болотных лесах Западной Сибири / Н.И. Пьявченко // Лесоведение. – 1967. – № 3. – С. 32-42.
12. Смольянинов, И. И. Биологический круговорот веществ и повышение продуктивности лесов / И.И. Смольянинов. – М.: Лесная промышленность, 1969. – 192 с.
13. Казимиров, А. И. Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии / А.И. Казимиров, Р.М. Морозова. – Л.: Наука, 1973. – 175 с.
14. Манаков, К. Н. Биологический круговорот минеральных элементов и почвообразование в ельниках Крайнего Севера / К.Н. Манаков, В.В. Никонов. – Л.: Наука, 1981. – 196 с.
15. Вакуров, А. Д. Круговорот азота и минеральных элементов в низкопродуктивных ельниках северной тайги / А.Д. Вакуров, А.Ф. Полякова

// Круговорот химических веществ в лесу. – М.: Наука, 1982. – С. 20-46.

16. *Винокурова, Р. И.* Роль растений елово-пихтовых лесов в миграции химических элементов / Р.И. Винокурова, О.В. Андриянова, В.Ю. Осипова, И.Ю. Волкова, Е.В. Тарасенко. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – 194 с.

17. *Цветков, В. Ф.* Состояние и перспективы лесов Кольской лесорастительной области в условиях промышленного загрязнения / В.Ф. Цветков // Экологические проблемы европейского Севера. – Екатеринбург: УрО РАН, 1996. – С. 24-50.

18. *Воробейчик, Е. Л.* Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень) / Е.Л. Воробейчик, О.Ф. Садыков, М.Г. Фарафонов. – Екатеринбург: Наука, 1994. – 280 с.

19. *Черненко, Т. В.* Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение / Т.В. Черненко. – М.: Наука, 2002. – 191 с.

20. *Ильин, В. Б.* Элементный химический состав растений. – Новосибирск: Наука, 1985. – 129 с.

21. *Ковалевский, А. Л.* Биохимия растений / А.Л. Ковалевский. – Новосибирск: Наука, 1991. – 294 с.

22. *Добровольский, В. В.* Основы биохимии / В.В. Добровольский. – М.: Высшая школа, 1998. – 413 с.

23. *Кабата-Пендиас, А.* Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.

24. *Виноградов, А. П.* Основные закономерности в распределении микроэлементов между растениями и средой / А.П. Виноградов // Микроэлементы в жизни растений и животных. – М.: Наука, 1972. – С. 7-20.

25. *Ковальский, В. В.* Геохимическая экология / В.В. Ковальский. – М.: Наука, 1974. – 345 с.

26. *Глазовская, М. А.* Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР / М.А. Глазовская. – М.: Высшая школа, 1988. – 328 с.

27. *Перельман, А. И.* Геохимия ландшафта / А.И. Перельман, Н.С. Касимов. – М.: МГУ, 1999. – 610 с.

28. *Алексеев, В. А.* Экологическая геохимия / В.А. Алексеев. – М.: Логос, 2000. – 626 с.

29. *Дроздова, В. М.* Химический состав атмосферных осадков на Европейской территории СССР / В.М. Дроздова, О.П. Петренчук, Е.С. Селезнева и др. – Л.: Гидрометеиздат, 1964. – 209 с.

30. *Черняева, Л.Е.* Химический состав атмосферных осадков (Урал и Приуралье) / Л.Е. Черняева, А.М. Черняев, А.К. Могиленских. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 179 с.

31. *Пьявченко, Н. И.* О роли атмосферной пыли в питании болот / Н.И. Пьявченко, З.А. Сибирева // Доклады АН СССР. – 1959. – Т. 124, № 2. – С. 414-417.

32. *Пьявченко, Н. И.* Об изучении болот в связи с проблемой «Человек и биосфера» /

Н.И. Пьявченко // История биогеоценозов СССР в голоцене. – М.: Наука, 1976. – С. 46-57.

33. *Тюремнов, С. Н.* Растительные группировки торфяных месторождений и химический состав их водной среды / С.Н. Тюремнов, И.Ф. Ларгина // Торфяная промышленность. – 1968. – № 2. – С. 21-24.

34. *Шварцев, С. Л.* Гидрогеохимия зоны гипергенезиса / С.Л. Шварцев. – М.: Наука, 1978. – 287 с.

35. *Шатилов, И. С.* Химический состав атмосферных осадков и поверхностно-стекаемых вод / И.С. Шатилов, А.Г. Замараев, Г.В. Чеповская // Доклады ВАСХНИЛ. – 1977. – № 6. – С. 1-3.

36. *Саарман, Т. Е.* О поступлении минеральных веществ из елово-лиственного опада в бурую псевдоподзолистую почву / Т.Е. Саарман // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 1979. – Вып. 20. – С. 19-21.

37. *Глухова, Т. В.* Поступление с осадками и вынос элементов минерального питания с осушенных лесных верховых болот / Т.В. Глухова // Освоение осушенных земель в Марийской АССР и ускорение научно-технического прогресса в гидроресомелиорации. – Йошкар-Ола: Редакционно-издательский отдел Госкомиздата Марийской АССР, 1986. – С. 44-45.

38. *Поздняков, Л. К.* О роли осадков, проникающих под полог леса, в процессе обмена веществ между лесом и почвой / Л.К. Поздняков // Доклады АН СССР. – 1956. – Т. 107, № 5. С. 753-756.

39. *Морозова, Р. М.* Роль атмосферных осадков в круговороте азота и зольных элементов в еловых лесах Карелии / Р.М. Морозова, В.К. Куликова // Почвенные исследования в Карелии. – Петрозаводск: Ин-т леса КФ АН СССР, 1974. – С. 143-161.

40. *Второва, В. Н.* Роль атмосферных осадков в обменных процессах хвойных лесов Подмосквья / В.Н. Второва // Почвоведение. – 1978. – № 6. – С. 52-67.

41. *Учватов, В. П.* Трансформация химического состава природных вод в лесном ландшафте как показатель его биохимического функционирования / В.П. Учватов, Н.Ф. Глазовский // Известия АН СССР. Сер. геогр. – 1984. – № 1. – С. 101-109.

42. *Учватов, В. П.* Геохимическая экология лесного ландшафта Приокско-Террасного биосферного заповедника / В.П. Учватов // Экология. – 1995. – № 4. – С. 268-273.

43. *Бахнов, В. К.* Биохимические аспекты болотообразовательного процесса / В.К. Бахнов. – Новосибирск: Наука, 1986. – 193 с.

44. *Елпатьевский, П. В.* Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных системах / П.В. Елпатьевский. – М.: Наука, 1993. – 253 с.

45. *Хрусталева, М. А.* Экогеохимия моренных ландшафтов центра Русской равнины / М.А. Хрусталева. – М.: Технополиграфцентр, 2002. – 315 с.

46. *Свиридова, И. К.* Результаты изучения вымывания азота и зольных элементов дождевыми

осадками из крон древесных пород / И.К. Свиридова // Доклады АН СССР. – 1960. – Т. 133, № 3. – С. 706-708.

47. Масилюнас, Л. И. Некоторые данные о химическом составе атмосферных осадков и вымывании химических веществ из крон деревьев / Л.И. Масилюнас, Г.Б. Паулюквичюс // Труды АН Литовской ССР. Серия Биология. – 1963. – Т. 1. – С. 45-51.

48. Колодяжная, А. А. Режим химического состава атмосферных осадков и их метаморфизация в зоне аэрации / А.А. Колодяжная. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1963. – 164 с.

49. Мина, В. Н. Выщелачивание некоторых веществ атмосферными осадками из древесных растений и его значение в биологическом круговороте / В.Н. Мина // Почвоведение. – 1965. – № 6. – С. 7-17.

50. Мина, В. Н. Влияние осадков, стекающих по стволам деревьев, на почву / В.Н. Мина // Почвоведение. – 1967. – № 10. – С. 44-52.

51. Attiwil, P. M. The chemical composition of rainwater of relation to cycling of nutrients in nature Eucalyptus forest // Plant and Soil. – 1966. – Vol. 24, № 3. – Pp. 6-10.

52. Carlisle, A. The nutrient content of tree stem flow and ground flours litter and leaf chutes in a Sessile oak (*Quercus petraea*) woodland / A. Carlisle, A.H.F. Brown, E.J. White // J. of Ecology. – 1967. – Vol. 55, № 3. – Pp. 615-627.

53. Tukey, H. B. J. Leaching of substances from plants / H.B.J. Tukey // Ann. Rev. of plant physiology. 1970. – Vol. 21. – Pp. 305-324.

54. Gersper, P. Some effect of stem flow from forest canopy trees on chemical properties of soils / P. Gersper, H. Holowaychuk // Ecology. – 1971. – Vol. 52, № 4. – Pp. 230-239.

55. Кулагина, М. Л. Химизм дождевых осадков, проникающих под полог леса в Красноярской лесостепи / М.Л. Кулагина // Гидроклиматические исследования в лесах Сибири. – М.: Наука, 1967. – С. 56-64.

56. Соколов, А. А. Химический состав атмосферных осадков, прошедших сквозь полог елового и березового древостоя / А.А. Соколов // Лесоведение. – 1972. – № 3. – С. 103-106.

57. Сысуев, В. В. О механизме изменения химического состава атмосферных вод под пологом леса / В.В. Сысуев // Вестник МГУ. Сер. География. – 1975. – № 5. – С. 107-110.

58. Likens, G. E. Biogeochemistry of a forested ecosystem / G.E. Likens, F.H. Borman, R.S. Pierce, J.S. Eaton, N.M. Johnson. – New-York: Springer, 1977. – 148 p.

59. Miller, H. G. Collection and retention of atmospheric pollutants by vegetation / H.G. Miller, J.D. Miller // Intern. Conf. of Ecological Impact of Acid Precipitation. – Oslo, AAS, 1980. – Pp. 33-40.

60. Fuhrer, J. Interactions between acidic deposition and forest ecosystem processes / J. Fuhrer, C. Fuhrer-fries // European J. of forest pathology. – 1982. – Vol. 12, № 6-7. – Pp. 377-391.

61. Глазовский, Н. Ф. Химический состав атмосферной пыли и его изменение после осаждения на кроны деревьев / Н.Ф. Глазовский, В.П. Учватов // Взаимодействие лесных экосистем и атмосферных загрязнителей. Ч. II. – Таллинн: Эстонский НИИЛХОП, 1982. – С. 67-87.

62. Lindberg, E. S. Water and acid soluble trace metals in atmospheric particles / E. S. Lindberg, R. C. Harris // Geophysic Res. – 1983. – Vol. 88, № 9. – Pp. 1177-1191.

63. Richter, D. D. Atmosphere sulfur deposition, neutralization and ion leaching in two deciduous forest ecosystems / D. D. Richter, D. W. Johnson, D. E. Todot // Environ. Quail. – 1983. – Vol. 12. – Pp. 112-123.

64. Ulrich, B. Effect of air pollution on forest ecosystems and water – The principles demonstrated at a case study in Central Europe / B. Ulrich // Atmospheric Environ. – 1984. – Vol. 18. – Pp. 72-84.

65. Rehfuess, K. T. Waldboden / K.T. Rehfuess. – Hamburg: Paul Parey, 1990. – 296 p.

66. Медведев, Л. В. Трансформация жидких атмосферных осадков древостоями южной тайги (на примере Валдая) / Л.В. Медведев, Т.Е. Шитикова, В.А. Алексеенко // Структура и функционирование экосистем южной тайги. – М.: Наука, 1986. – С. 26-55.

67. Алексеенко, В. А. Поступление микроэлементов из атмосферы и их содержание в природных водах лесного водосбора / В.А. Алексеенко // Экология. – 1988. – № 3. – С. 71-73.

68. Карпачевский, Л. О. Воздействие полога ельника сложного на химический состав осадков / Л.О. Карпачевский, Т.А. Зубкова, Т. Пройслер и др. // Лесоведение. – 1998. – № 1. – С. 50-59.

69. Никонов, В. В. Влияние ели и сосны на кислотность и состав атмосферных выпадений в северо-таежных лесах индустриально развитого района / В.В. Никонов, Н.В. Лукина // Экология. – 2000. – № 2. – С. 97-105.

70. Пристова, Т. А. Влияние древесного полога лиственно-хвойного насаждения на химический состав осадков / Т.А. Пристова // Лесоведение. – 2005. – № 5. – С. 49-55.

71. Марунич, С. В. Трансформация химического состава атмосферных осадков пологом древостоя южно-таежных лесов / С.В. Марунич, А.С. Буров, Ю.Н. Кузнецова, И.В. Недогарко // Известия РАН. Серия географическая. – 2006. – № 4. – С. 52-57.

72. Арчегова, И. Б. Влияние древесных растений на химический состав атмосферных осадков в процессе восстановления среднетаежных лесов / И.Б. Арчегова, Е.Г. Кузнецова // Лесоведение. – 2011. – № 3. – С. 34-43.

73. Робакидзе, Е. А. Химический состав жидких атмосферных осадков в старовозрастных ельниках средней тайги / Е.А. Робакидзе, Н.В. Гормонова, К.С. Бобкова // Геохимия. – 2013. – № 1. – С. 72.

74. Морозова, Р. М. Биологический круговорот веществ в сосняках брусничных и лишайниковых /

Р.М. Морозова // Почвы сосновых лесов Карелии. – Петрозаводск: КФ АН СССР, 1978. – С. 85-112.

75. Глебов, Ф. З. О биологической продуктивности болотных лесов, лесообразовательном и болотообразовательном процессах / Ф.З. Глебов, Л.С. Толейко // Ботанический журнал. – 1975. – Т. 60, № 9. – С. 13-17.

76. Демаков, Ю. П. Использование метода тканевой абсорбции для оценки аэральных выпадений пыли / Ю.П. Демаков, М.И. Майшанова // Теоретические и прикладные проблемы науки и образования в 21 веке: сб. науч. тр. по материалам Международ. заоч. научно-практ. конф. Ч. 2. – Тамбов: Изд-во Тамбовского государственного университета, 2012. – С. 53-55.

77. 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 Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2012. – № 1 (15). – С. 85-95.

78. Демаков, Ю. П. Воздействие завода силикатного кирпича на состояние и структуру соснового биогеоценоза / Ю.П. Демаков, М.И. Майшанова, Е.А. Гончаров и др. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2013. – 192 с.

79. Демаков, Ю. П. Использование тканевых повязок для оценки аэральных поступлений зольных элементов / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, В.И. Таланцев // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». – Йошкар-Ола: МарГУ, 2013. – Вып. 6. – С. 48-55.

80. Лукина, И. В. Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях аэротехногенного загрязнения / И.В. Лукина, В.В. Никонов. – Апатиты: КНЦ РАН, 1996. В 2-х ч. – Ч. 1. 213 с. – Ч. 2. 192 с.

81. Ярмишко, В. Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на европейском севере / В.Т. Ярмишко. – СПб.: ООО «ВВМ», 1997. – 210 с.

82. Цветков, В. Ф. Лес в условиях аэротехногенного загрязнения / В.Ф. Цветков, И.В. Цветков. – Архангельск, 2003. – 354 с.

83. Проблемы экологии растительных сообществ Севера / Под ред. В. Т. Ярмишко. – СПб.: ООО «ВВМ», 2005. – 450 с.

84. Мартынюк, А. А. Особенности формирования надземной фитомассы сосновых молодняков в условиях техногенного загрязнения / А.А. Мартынюк // Лесоведение. – 2008. – № 1. – С. 39-45.

85. Усольцев, В. А. Биологическая продуктивность лесов Урала в условиях техногенного загрязнения: Исследование системы связей и закономерностей / В.А. Усольцев, Е.Л. Воробейчик, И.Е. Бергман. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. – 366 с.

86. Коровин, Н. В. Негативное влияние техногенного атмосферного загрязнения на сосновые насаждения и пути его снижения (на примере Гомельского промышленного района) / Н.В. Коро-

вин, В.В. Степанчик, Л.В. Холодилова. – Брянск: БГИТА, 2003. – 143 с.

87. Шелуха, В. П. Биоиндикация хронического промышленного воздействия щелочного типа на компоненты хвойных лесонасаждений / В.П. Шелуха. – Брянск: БГИТА, 2001. – 205 с.

88. Глазовский, Н. Ф. Использование снежного покрова в индикации загазованности промышленных районов / Н.Ф. Глазовский, А.С. Злобина, Е.Д. Учватов // Региональный экологический мониторинг. – М.: Наука, 1986. – С. 79-83.

89. Вирцавс, М. В. Методическое пособие по приготовлению сухих концентратов загрязненных природных вод для химического анализа на содержание микроэлементов / М.В. Вирцавс, А.М. Степанов, В.В. Сычев. – М.: ЦЭПЛ РАН, 1992. – 33 с.

90. Kozlov, M. V. Snowpack changes around a nickel-copper smelter at Monchegorsk, northwestern Russia / M.V. Kozlov // Can. J. For. Res. – 2001. – Vol. 31. – Pp. 1684-1690.

91. Армолайтис, К. Э. Влияние выбросов цементного завода на физико-химические свойства лесных почв / К.Э. Армолайтис, М.В. Вайчис, Л.В. Кубяртавичене, А.Д. Рагуотис // Почвоведение. – 1995. – № 9. – С. 1160-1165.

92. Бериня, Д. Ж. Эмиссия индустриальной кальцийсодержащей пыли и окружающая среда / Д. Ж. Бериня, И.М. Лапина // Загрязнение природной среды кальцийсодержащей пылью – Рига: Зинатне, 1985. – С. 7-14.

93. Баркан, В. Ш. Опыт использования пассивных окисно-свинцовых поглотителей для оценки концентрации сернистого газа в атмосфере / В.Ш. Баркан // Экология. – 1992. – № 4. – С. 37-44.

94. Никодемус, О. Э. К методике определения накопления загрязняющих элементов в лесных насаждениях / О.Э. Никодемус, К.К. Раман // Влияние промышленного загрязнения на лесные экосистемы и мероприятия по повышению их устойчивости. – Каунас-Гирионис: Литовский НИИЛХ, 1984. – С. 30-31.

95. Шарковскис, П. А. Содержание металлов в продуктах эмиссии на придорожной полосе автодорог Латвии / П.А. Шарковскис, О.Э. Никодемус // Влияние выбросов автотранспорта на природную среду. – Рига: Зинатне, 1989. – С. 5-21.

96. Зубарева, О. Н. Аккумуляция пыли компонентами березовых фитоценозов в зоне воздействия известковых карьеров / О.Н. Зубарева, Л.Н. Скрипальщикова, В.Д. Перевозчикова // Экология. – 1999. – № 5. – С. 339-343.

97. Копчик, Г. Н. Поглощение макроэлементов и тяжелых металлов елью при атмосферном загрязнении на Кольском полуострове / Г.Н. Копчик, В.Н. Лукина, С.В. Копчик и др. // Лесоведение. – 2008. – № 2. – С. 3-12.

98. Методика выполнения измерений валового содержания меди, кадмия, цинка, свинца, никеля, марганца, кобальта, хрома методом атомно-

абсорбционной спектроскопии. – М.: ФГУ ФЦАО, 2007. – 20 с.

99. Методы биогеохимического исследования растений / Под ред. А.И. Ермакова. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 450 с.

100. Курбанов, Э. А. Сравнительный анализ спутниковых снимков высокого разрешения при дешифрировании древостоев, загрязненных отхо-

дами силикатного производства / Э.А. Курбанов, О. Н. Воробьев, Ю.А. Полевщикова и др. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2013. – № 2 (18). – С. 74-90.

101. Крамер, Л. Физиология древесных растений / Л. Крамер, Т. Козловский. – М.: Гослесбуиздат, 1963. – 628 с.

Статья поступила в редакцию 19.01.15.

Информация об авторах

ДЕМАКОВ Юрий Петрович – доктор биологических наук, профессор кафедры экологии, почвоведения и природопользования, Поволжский государственный технологический университет, главный научный сотрудник государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Область научных интересов – биогеоценология, дендрохронология. Автор 270 публикаций, в том числе 10 монографий и учебных пособий.

ИСАЕВ Александр Викторович – кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе, государственный природный заповедник «Большая Кокшага». Область научных интересов – биогеоценология, лесное почвоведение. Автор 35 публикаций, в том числе одной монографии.

UDK 630*182:581.524.32

INFLUENCE OF AERIAL INCOME OF ELEMENTS ON THEIR CIRCULATION IN FOREST ECOSYSTEMS

Yu. P. Demakov^{1,2}, A. V. Isaev²

¹Volga State University of Technology,
3, Lenin Sq., Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation
E-mail: DemakovYP@volgatech.net

²State natural reserve «Bolshaya Kokshaga»,
26, Voinov-Internatsionalistov St., Yoshkar-Ola, 424038, Russian Federation
E-mail: avsacha@yandex.ru

Key words: forest ecosystems; atmosphere precipitation; chemical composition; transformation in shelter; cotton; circulation of elements.

ABSTRACT

Results of the analysis of many source of literature in assessment of aerial income of elements in forest ecosystems and their transformation by the shelter are offered. It was shown that precipitation merges with geobiocoenosis when coming in contact with the shelter, supplying water and many nutrients which are necessary for all living beings. Penetrating the shelter, composition of precipitation changes to the great extent as precipitation does not only washes off the dust out from the leaves and becomes saturated with the metabolism products of different plants and other living beings. It also leaches out a number of chemical elements from living cells, actively influencing on the biological cycle of the elements. An extent of precipitation chemical composition transformation, taking place both in summer and in winter, depends on precipitation frequency and intensity as well as the species of trees, phase of their seasonal development and conditions of growing. Results of experience in assessment of dispersion of dust emissions of silica brick factory using textile bandages and influence of exometabolites of trees, which are precipitation solved, on cotton fibres (cellulose) decay in different biotopes were described. It was determined that a major change of an original ash content took place in all the tissue samples (in the area of dust emissions of Mari silica brick factory, content of ash and many ash constituents has significantly increased; in the nearby territory, content of calcium, strontium and cuprum has, on the contrary, significantly decreased.). Most part of the elements was washed out from the tissues in the birch groves and pine forests, growing in nutrient-poor sandy soils. There was low intensity of washing out of calcium and strontium in an inundable biotope. Conclusion: trees regulate the process of mineral nutrition and biological cycle in forest ecosystems by themselves, excreting from the surface of leaves, branches and a stem all the necessary exometabolites. Composition and concentration of exometabolites depend on the species of trees and environment condition.

REFERENCES

1. Smirnova K. M. Krugovorot azota i zolnykh elementov v elnikakh slozhnykh [Circulation of Nitrogen and Ash Elements in Fir Forest in the South.]. *Vestnik MGU* [Vestnik of MSU]. 1951. № 10. Pp. 103-122.
2. Smirnova K. M., Gorodentseva G.A. Potreblenie i krugovorot elementov pitaniya v berezovom lesu [Consumption and Circulation of Fertilizer Elements in Birch Grove]. *Byulleten MOIP. Otdelenie biologii* [Bulletin of MOIP. Division of Biology]. 1958. Vol. 63, Issue 2. Pp. 135-146.
3. Bazilevich N.I., Rodin L.E. Osobennosti malogo biologicheskogo krugovorota v razlichnykh pochvenno-rastitelnykh zonakh [Peculiarities of Small Biological Cycle in Different Soil and Vegetative Zones]. *Doklady AN SSSR* [Reports of AN USSR]. 1954. Vol. XCVII, № 6. Pp. 1061-1064.
4. Bazilevich N.I. Osobennosti krugovorota zolnykh elementov i azota v nekotorykh pochvenno-rastitelnykh zonakh SSSR [Peculiarities of Circulation of Ash and Nitrogen Constituents in Some Soil and Vegetative Zones in the USSR]. *Pochvoedeniye* [Pedology]. 1955. № 4. Pp. 1-32.
5. Bazilevich N.I., Rodin L.E. Produktivnost i krugovorot elementov v estestvennykh i kulturnykh fitotsenozakh (po materialam SSSR) [Productivity and Circulation of Mineral Elements in Natural and Cultivated Cenosis (adapted from the USSR)]. *Biologicheskaya produktivnost i krugovorot khimicheskikh elementov v rastitelnykh soobshchestvakh* [Biological Productivity and Circulation of Chemical Elements in Vegetative Society]. Leningrad: Nauka, 1971. Pp. 5-32.
6. Mina V. N. Krugovorot azota i zolnykh elementov v dubravakh lesostepi [Circulation of Nitrogen and Ash Elements in Oak Groves of Forest-Steppe]. *Pochvovedeniye* [Pedology]. 1955. № 6. Pp. 32-44.
7. Remezov N. P., Bykova L.N., Smirnova K.M. *Potreblenie i krugovorot azota i zolnykh elementov v lesakh evropeyskoy chasti SSSR* [Consuming and Circulation of Nitrogen and Ash Elements in Forests of the European USSR]. Moscow: MSU, 1959. 284 p.
8. Marchenko A. I., Karlov E.I. Mineralnyy obmen v elovykh lesakh severnoy taygi i lesotundry Arhangel'skoy oblasti [Mineral Metabolism in Spruce Forests of North Taiga and Forest Tundra in Arkhangel'sk Oblast]. *Pochvovedeniye* [Pedology]. 1962. № 7. Pp. 52-67.
9. Rodin L. E., Bazilevich N.I. *Dinamika organicheskogo veshchestva i biologicheskiiy krugovorot zolnykh elementov i azota v osnovnykh tipakh rastitelnosti zemnogo shara* [Dynamics of Organic Substances and Biological Cycle of Ash and Nitrogen Elements in the Basic Plants of the Earth]. Moscow-Leningrad: Nauka, 1965. 253 p.
10. Abaturou Yu. D. Nekotorye osobennosti biologicheskogo krugovorota azota i zolnykh elementov v sosnyakakh Yuzhnogo Urala [Some Peculiarities of Biological Cycle of Ash and Nitrogen Elements in the Pine Forests of the Southern Urals]. *Trudy In-ta biologii UF AN SSSR* [Proceedings of the Institute of Biology of UF AN USSR]. Sverdlovsk: UF AN SSSR, 1966. Issue 55. Pp. 69-79.
11. Pyavchenko N. I. Biologicheskaya produktivnost i krugovorot veshchestv v bolotnykh lesakh Zapadnoy Sibiri [Biological Productivity and Circulation of Elements in Swamp Forests of the Western Siberia]. *Lesovedeniye* [Sylviculture]. 1967. № 3. Pp. 32-42.
12. Smolyaninov I. I. *Biologicheskiiy krugovorot veshchestv i povysheniye produktivnosti lesov* [Biological Cycle of the Elements and Improvement of Forests Productivity]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1969. 192 p.
13. Kazimirov A. I., Morozova R.M. *Biologicheskiiy krugovorot veshchestv v elnikakh Karelii* [Cycle of Elements in Spruce Grove of the Karelia]. Leningrad: Nauka, 1973. 175 p.
14. Manakov K. N., Nikonov V.V. *Biologicheskiiy krugovorot mineralnykh elementov i pochvoobrazovanie v elnikakh Kraynego Severa* [Cycle of the Mineral Elements and Soil Formation in Spruce Grove of Far North]. Leningrad: Nauka, 1981. 196 p.
15. Vakurov A. D., Polyakova A.F. Krugovorot azota i mineralnykh elementov v nizkoproduktivnykh elnikakh severnoy taygi [Circulation of Nitrogen and Mineral Elements in Low-Productive Spruce Forest of North Taiga]. *Krugovorot khimicheskikh veshchestv v lesu* [Circulation of Chemicals in Forests]. Moscow: Nauka, 1982. Pp. 20-46.
16. Vinokurova R. I., Andriyanova O.V., Osipova V.Yu., Volkova I.Yu., Tarasenko E.V. *Rol rasteniy elovo-pikhtovykh lesov v migratsii khimicheskikh elementov* [The Role of Vegetation in Fir Forests for Migration of Chemical Elements]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2002. 194 p.
17. Tsvetkov V. F. Sostoyaniye i perspektivy lesov Kolskoy lesorastitelnoy oblasti v usloviyakh promyshlennogo zagryazneniya [Present-Day State and Perspectives of Forests of the Kola in Forest Area in Conditions of Industrial Pollution]. *Ekologicheskiiye problemy evropeyskogo Severa* [Ecological Problems in the European North]. Ekaterinburg: UrO RAN, 1996. Pp. 24-50.
18. Vorobeychik E. L., Sadykov O.F., Farafontov M.G. *Ekologicheskoye normirovaniye tekhnogennykh zagryazneniy nazemnykh ekosistem (lokalnyy uroven)* [Ecological Standartization of Man-Made Pollution of Land Ecosystems (local level)]. Ekaterinburg: Nauka, 1994. 280 p.
19. Chernenkova T. V. *Reaktsiya lesnoy rastitelnosti na promyshlennoye zagryazneniye* [The Answer of Forest Vegetation to Industrial Pollution]. Moscow: Nauka, 2002. 191 p.

20. Ilin V. B. *Elementnyy khimicheskiy sostav rasteniy* [Elementary Chemical Composition of Plants]. Novosibirsk: Nauka, 1985. 129 p.
21. Kovalevskiy A. L. *Biogeokhimiya rasteniy* [Biochemistry of Plants]. Novosibirsk: Nauka, 1991. 294 p.
22. Dobrovolskiy V. V. *Osnovy biogeokhimii* [Fundamentals of Biochemistry]. Moscow: Vysshaya shkola, 1998. 413 p.
23. Kabata-Pendias A., Pendias Kh. *Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh* [Microelements in Soil and Plants]. Moscow: Mir, 1989. 439 p.
24. Vinogradov A. P. *Osnovnye zakonomernosti v raspredelenii mikroelementov mezhdru rasteniyami i sredoy* [Basic Regularities in Distribution of Microelements among the Plants and Environment]. *Mikroelementy v zhizni rasteniy i zhivotnykh* [Microelements in the Life of Plants and Animals]. Moscow: Nauka, 1972. Pp. 7-20.
25. Kovalskiy V. V. *Geokhimicheskaya ekologiya* [Geochemical Ecology]. Moscow: Nauka, 1974. 345 p.
26. Glazovskaya M. A. *Geokhimiya prirodnykh i tekhnogennykh landshaftov SSSR* [Geochemistry of Natural and Man-Made Landscapes in the USSR]. Moscow: Vysshaya shkola, 1988. 328 p.
27. Perelman A. I., Kasimov N.S. *Geokhimiya landshaftov* [Geochemistry of Landscape]. Moscow: MSU, 1999. 610 p.
28. Alekseenko V. A. *Ekologicheskaya geokhimiya* [Ecological Geochemistry]. Moscow: Logos, 2000. 626 p.
29. Drozdova V. M., Petrenchuk O.P., Selezneva E.S., et al. *Khimicheskiy sostav atmosferykh osadkov na Evropeyskoy territorii SSSR* [Precipitation Composition in the European USSR]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1964. 209 p.
30. Chernyaeva L.E., Chernyaev A.M., Mogilenskikh A.K. *Khimicheskiy sostav atmosferykh osadkov (Ural i Priurale)* [Precipitation Composition (Ural and Cisurals)]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1978. 179 p.
31. Pyavchenko N. I., Sibireva Z.A. *O roli atmosferykh pyli v pitanii bolot* [On the Role of Atmospheric Dust to Nourish Swamps]. *Doklady AN SSSR* [Reports of AN USSR]. 1959. Vol. 124, № 2. Pp. 414-417.
32. Pyavchenko N. I. *Ob izuchenii bolot v svyazi s problemoy «Chelovek i biosfera»* [On the Study of the Bogs, Taking into Account the «Human-Biosphere» Problem]. *Istoriya biogeotsenozov SSSR v golotsene* [History of USSR Geobiocoenosis in Holocene]. Moscow: Nauka, 1976. Pp. 46-57.
33. Tyuremnov S. N., Largin I.F. *Rastitelnye gruppirovki torfyanokh mestorozhdeniy i khimicheskiy sostav ikh vodnoy sredy* [Plant Vegetation of Peat Bogs and Chemical Composition of Their Aquatic Habitat]. *Torfyanaya promyshlennost* [Peat Industry]. 1968. № 2. Pp. 21-24.
34. Shvartsev S. L. *Gidrogeokhimiya zony gipergenezisa* [Hydrogeochemistry of the Hypergenesis Zone]. Moscow: Nauka, 1978. 287 p.
35. Shatilov I. S., Zamaraev A.G., Chepovskaya G.V. *Khimicheskiy sostav atmosferykh osadkov i poverhnostno-stekaemykh vod* [Chemical Composition of Precipitation and Flow Down Rivers]. *Doklady VASHNIL* [Reports of VASKHNIL]. 1977. № 6. Pp. 1-3.
36. Saarman T. E. *O postuplenii mineralnykh veshchestv iz elovo-listvennogo opada v buruyu psevdopodzolistuyu pochvu* [Supply of Mineral Elements out from the Needle and Leaf Litter in the Brown Pseudopodzolic Soil]. *Byulleten Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva* [Bulletin of V.V. Dokuchaev Soil Science Institute]. 1979. Issue 20. Pp. 19-21.
37. Glukhova T. V. *Postuplenie s osadkami i vynos elementov mineralnogo pitaniya s osushennykh lesnykh verkhovykh bolot* [Supply of Mineral Elements with Precipitation and Loss of Mineral Elements in the Drained Forest Raised Bogs]. *Osvoenie osushennykh zemel v Mariyskoy ASSR i uskorenie nauchno-tekhnicheskogo progressa v gidrolesomeliatsii* [Development of Drained Lands in Mari ASSR and Acceleration of Scientific and Technical Progress in Hydroforestmelioration]. Yoshkar-Ola: Redaktsionno-izdatelskiy otdel Goskomizdata Mariyskoy ASSR, 1986. Pp. 44-45.
38. Pozdnyakov L. K. *O roli osadkov, pronikayushchikh pod polog lesa, v protsesse obmena veshchestv mezhdru lesom i pochvoy* [On the Role of Precipitation, Penetrating under the Forest Cover in Course of Metabolism between Forest and Soil]. *Doklady AN SSSR* [Reports of AN USSR]. 1956. Vol. 107, № 5. Pp. 753-756.
39. Morozova R. M., Kulikova V.K. *Rol atmosferykh osadkov v krugovorote azota i zolnykh elementov v elovykh lesakh Karelii* [Role of Precipitation in Circulation of Nitrogen and Ash Elements in the Spruce Forest of Karelia]. *Pochvennyye issledovaniya v Karelii* [Studies of the Forest in Karelia]. Petrozavodsk: Institut lesa KF AN SSSR, 1974. Pp. 143-161.
40. Vtorova V. N. *Rol atmosferykh osadkov v obmennykh protsessakh khvoynykh lesov Podmoskovya* [Role of Precipitation in Metabolism of Coniferous Trees in Moscow Oblast]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 1978. № 6. Pp.52-67.
41. Uchvatov V. P., Glazovskiy N.F. *Transformatsiya khimicheskogo sostava prirodnykh vod v lesnom landshafte kak pokazatel ego biogeokhimicheskogo funktsionirovaniya* [Transformation of Chemical Composition Natural Water in Forest Landscape as an Indicator of its Biochemical Functioning]. *Izvestiya AN SSSR. Ser. Geogr.* [News of AN SSSR. Series «Geography»]. 1984. № 1. Pp. 101-109.
42. Uchvatov V. P. *Geokhimicheskaya ekologiya lesnogo landshafta Prioksko-Terrasnogo biosfernogo*

zapovednika [Geochemical Ecology of Forest Landscape in Prioksko-Terrasny Biosphere Reserve]. *Ekologiya* [Ecology]. 1995. № 4. Pp. 268-273.

43. Bakhnov V. K. *Biogeokhimicheskie aspekty bolotoobrazovatel'nogo protsessa* [Biochemical Aspects of Bog-Forming Process]. Novosibirsk: Nauka, 1986. 193 p.

44. Elpatevskiy P. V. *Geokhimiya migratsionnykh potokov v prirodnykh i prirodno-tekhnogennykh sistemakh* [Ecogeochemistry Migration Flows in the Natural and Natural and Anthropogenic Systems]. Moscow: Nauka, 1993. 253 p.

45. Khrustaleva M. A. *Ekogeokhimiya morennykh landshaftov tsentra Russkoy ravniny* [Ecogeochemistry of Morainic Landscapes in the Centre of Russian Plain]. Moscow: Tekhnopoligrafitsentr, 2002. 315 p.

46. Sviridova I.K. Rezultaty izucheniya vymyvaniya azota i zolnykh elementov dozhdevnymi osadkami iz kron drevesnykh porod [Results of Study of Leaching of Nitrogen and Mineral Constituents Caused by Rainfall out from the Crowns of Woody Species]. *Doklady AN SSSR* [Reports of AN SSSR]. 1960. Vol. 133, № 3. Pp. 706-708.

47. Masilyunas L. I., Paulyukyavichus G.B. Nekotorye dannye o khimicheskom sostave atmosferykh osadkov i vymyvaniy khimicheskikh veshchestv iz kron derevev [Some Data about Precipitation Composition and Outwashing of Chemical Elements out from the Crown of Trees]. *Trudy AN Litovskoy SSR. Seriya Biologiya*. [Transactions of AN of Lithuanian SSR. Series «Biology»]. 1963. Vol. 1. Pp. 45-51.

48. Kolodyazhnaya A. A. *Rezhim khimicheskogo sostava atmosferykh osadkov i ikh metamorfizatsiya v zone aeratsii* [A Mode for Precipitation Composition and Their Metamorphization in the Zone of Aeration]. Moscow-Leningrad: Izdatelstvo AN SSSR, 1963. 164 p.

49. Mina V. N. Vyshchelachivanie nekotorykh veshchestv atmosferynymi osadkami iz drevesnykh rasteniy i ego znachenie v biologicheskom krugovorote [Leaching-out of Some Elements by Atmospheric Precipitation from Woody Plants and Its Significance in Biological Cycle]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 1965. № 6. Pp. 7-17.

50. Mina V. N. Vliyanie osadkov, stekayushchikh po stvolam derevev, na pochvu [Influence of Precipitation, Flowing down by the Stems of Trees on the Soil]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 1967. № 10. Pp. 44-52.

51. Attiwil P. M. The Chemical Composition of Rainwater of Relation to Cycling of Nutrients in Nature Eucalyptus Forest. *Plant and Soil*. 1966. Vol. 24. № 3. Pp. 6-10.

52. Carlisle A., Brown A.H.F. The Nutrient Content of Tree Stem Flow and Ground Flours Litter and Lea chutes in a Sessile Oak (*Quercus petraea*) Woodland. *J. of Ecology*. 1967. Vol. 55. № 3. Pp. 615-627.

53. Tukey H. B. J. Leaching of Substances from Plants. *Ann. Rev. of plant physiology*. 1970. Vol. 21. Pp. 305-324.

54. Gersper P., Holowaychuk H. Some Effect of Stem Flow from Forest Canopy Trees on Chemical properties of soils. *Ecology*. 1971. Vol. 52. № 4. Pp. 230-239.

55. Kulagina M. L. Khimizm dozhdevykh osadkov, pronikayushchikh pod polog lesa v Krasnoyarskoy lesostepi [Chemistry of Rain Precipitation, Reaching Forest Cover in Krasnoyarsk Forest-Steppe]. *Gidroklimaticheskie issledovaniya v lesakh Sibiri* [Hydroclimatic Studies in the Forests of Siberia]. Moscow: Nauka, 1967. Pp. 56-64.

56. Sokolov A. A. Khimicheskiy sostav atmosferykh osadkov, proshedshikh skvoz polog elovogo i berezovogo drevostoya [Chemical Composition of Precipitation, Penetrating Fir and Birch Stands]. *Lesovedenie* [Silviculture]. 1972. № 3. Pp. 103-106.

57. Sysuev V. V. O mekhanizme izmeneniya khimicheskogo sostava atmosferykh vod pod pologom lesa [On the Procedure to Change the Chemical Composition of Atmospheric Water under Forest Canopy]. *Vestnik MGU. Ser. Geografiya*. [Vestnik of MSU. Ser. Geography.]. 1975. № 5. Pp. 107-110.

58. Likens G. E., Borman F.H., Pierce R.S., Eaton J.S., Johnson N.M. *Biogeochemistry of a Forested Ecosystem*. New-York: Springer, 1977. 148 p.

59. Miller H. G., Miller J.D. Collection and Retention of Atmospheric Pollutants by Vegetation. *Intern. Conf. of Ecological Impact of Acid Precipitation*. Oslo, AAS, 1980. Pp. 33-40.

60. Fuhrer J., Fuhrerfries C. Interactions between Acidic Deposition and Forest Ecosystem Processes. *European J. of forest pathology*. 1982. Vol. 12. № 6-7. Pp. 377-391.

61. Glazovskiy N.F., Uchvatov V.P. Khimicheskiy sostav atmosferynoy pyli i ego izmenenie posle osazhdeniya na krony derevev [Chemical Composition of Atmospheric Dust and Its Change after the Fall on the Crowns]. *Vzaimodeystvie lesnykh ekosistem i atmosferykh zagryazniteley. Ch. II*. [Interaction of Forest Ecosystems and Atmospheric Pollutants. P. II.]. Tallinn: Estonskiy NIILKHOP, 1982. Pp. 67-87.

62. Lindberg E. S., Harris R. C. Water and Acid Soluble Trace Metals in Atmospheric Particles. *Geophysic Res*. 1983. Vol. 88. № 9. Pp. 1177-1191.

63. Richter D. D., Johnson D. W., Todot D.E. Atmosphere Sulfur Deposition, Neutralization and Ion Leaching in Two Deciduous Forest Ecosystems. *Environ. Quail*. 1983. Vol. 12. Pp. 112-123.

64. Ulrich B. Effect of Air Pollution on Forest Ecosystems and Water. The Principles Demonstrated at a Case Study in Central Europe. *Atmospheric Environ*. 1984. Vol. 18. Pp. 72-84.

65. Rehfuess K. T. *Waldboden*. Hamburg: Paul Parey, 1990. 296 p.

66. Medvedev L. V., Shitikova T.E., Alekseenko V.A. Transformatsiya zhidkikh atmosferykh osadkov drevostoyami yuzhnoy taygi (na primere Valdaya) [Transformation of Rains by the Stands of Southern Taiga (based on the example of Valdai)]. *Struktura i funktsionirovanie ekosistem yuzhnoy taygi* [Structure and Functioning of Ecosystems in South Taiga]. Moscow: Nauka, 1986. Pp. 26-55.
67. Alekseenko V. A. Postuplenie mikroelementov iz atmosfery i ikh sodержanie v prirodnykh vodakh lesnogo vodosbora [Microelements Entry from the Atmosphere and their Content in the Water of Forest Water-Shed Area]. *Ekologiya* [Ecology]. 1988. № 3. Pp. 71-73.
68. Karpachevskiy L. O., Zubkova T.A., Proysler T., et al. Vozdeystvie pologa elnika slozhnogo na khimicheskii sostav osadkov [Influence of the Canopy of Spruce Forest on the Composition of Precipitation]. *Lesovedenie* [Sylviculture]. 1998. № 1. Pp. 50-59.
69. Nikonov V. V., Lukina N.V. Vliyanie eli i sosny na kislotnost i sostav atmosferykh vypadeniy v severo-taehznykh lesakh industrialno razvitygo rayona [Influence of Fir and Pine on the Acidity and Composition of Precipitation in North-Taiga Forests of the Industrially-Developed Regions]. *Ekologiya* [Ecology]. 2000. № 2. Pp. 97-105.
70. Pristova T. A. Vliyanie drevesnogo pologa listvenno-khvoynogo nasazhdeniya na khimicheskii sostav osadkov [Influence of the Canopy of Hardwood and Softwood Stand on the Composition of Precipitation]. *Lesovedenie* [Sylviculture]. 2005. № 5. Pp. 49-55.
71. Marunich S. V., Burov A.S., Kuznetsov Yu.N., Nedogarko I.V. Transformatsiya khimicheskogo sostava atmosferykh osadkov pologom drevostoya yuzhno-taehznykh lesov [Transformation of Chemical Composition of Precipitation by the Stands Cover in the South-Taiga Forests]. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya* [News of RAN. Series «Geography»]. 2006. № 4. Pp. 52-57.
72. Arhegova I. B., Arhegova I.B., Kuznetsova E.G. Vliyanie drevesnykh rasteniy na khimicheskii sostav atmosferykh osadkov v protsesse vosstanovleniya srednetaehznykh lesov [Influence of Woody Plants on the Chemical Composition of Precipitation in the Course of Middle Taiga Forest Rehabilitation]. *Lesovedenie* [Sylviculture]. 2011. № 3. Pp. 34-43.
73. Robakidze E. A., Gormonova N.V., Bobkova K.S. Khimicheskii sostav zhidkikh atmosferykh osadkov v starovozrastnykh elnikakh sredney taygi [Precipitation Composition in the Old Spruce Forest in the Middle Taiga]. *Geokhimiya* [Geochemistry]. 2013. № 1. Pp. 72.
74. Morozova R. M. Biologicheskii krugovorot veshchestv v sosnyakakh brusnichnykh i lishaynikovyykh [Biological Cycle of Chemical Elements in Pine Forests of Different Type]. *Pochvy sosnovyykh lesov Karelii* [Soils of Karelia Pine Forests]. Petrozavodsk: KF AN SSSR, 1978. Pp. 85-112.
75. Glebov F. Z., Glebov F.Z., Toleiko L.S. *O biologicheskoy produktivnosti bolotnykh lesov, lesoobrazovatelnom i bolotoobrazovatelnom protsesakh* [About Biological Productivity of Swamp Forests, Forest-Forming and Swamp-Forming Processes]. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical Journal]. 1975. Vol. 60, № 9. Pp. 13-17.
76. Demakov Yu. P., Maishanova M.I. Ispolzovanie metoda tkanevoy absorbtzii dlya otsenki aeralnykh vypadeniy pyli [Usage of the Methods of Tissue Absorption to Assess Aerial Dusting]. *Teoreticheskie i prikladnye problemy nauki i obrazovaniya v 21 veke: sb. nauch. tr. po materialam Mezhdunarod. zaoch. nauchno-prakt. konf. Ch. 2.* [Theoretical and Applied Problems of Science and Education in the 21st Century: collected papers based on the proceedings of International Distance Research and Practical Conference. P. 2.]. Tambov: Publishing house of Tambov State University, 2012. Pp. 53-55.
77. Demakov Yu. P., Shvetsov S.M., Maishanova M.I. Izmenenie zolnogo sostava khvoi, kory i drevesiny sosny v zone vybrosov zavoda silikatnogo kirpicha [Change of Ash Composition of Niddle, Bark and Pine Wood in the Zone of Emission of the Silex Brick Factory]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie.* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.]. 2012. № 1. Pp. 85-95.
78. Demakov Yu. P., Maishanova M.I., Goncharov E.A., et al. *Vozdeystvie zavoda silikatnogo kirpicha na sostoyanie i strukturu sosnovogo biogeotsenoza* [Influence of a Silex Brick Factory on the State and Structure of Pine Biogeocenosis]. Yoshkar-Ola: PGTU, 2013. 192 p.
79. Demakov Yu. P., Isaev A.V., Talantsev V.I. Ispolzovanie tkanevykh povyazok dlya otsenki aeralnykh postupleniy zolnykh elementov [Usage of Tissue Bandage to Assess Aerial Entrance of Ash Elements]. *Nauchnye trudy gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika «Bolshaya Kokshaga»* [Research Papers of State Natural Reserve «Bolshaya Kokshaga»]. Yoshkar-Ola: MarSU, 2013. Issue 6. Pp. 48-55.
80. Lukina I. V., Nikonov V.V. *Biogeokhimicheskie tsikly v lesakh Severa v usloviyakh aerotekhnogennoy zagryazneniya* [Biochemical Cycles in the Northern Forests in Conditions of Aerotechnogenic Pollution]. Apatity: KNTS RAN, 1996. In 2 parts. P. 1. 213 p. P. 2. 192 p.
81. Yarmishko V. T. *Sosna obyknovennaya i atmosfernoe zagryaznenie na evropeyskom severe* [Scots Pine and Atmospheric Pollution in the North of the European Part of Russia]. Saint-Petersburg: OOO «VVM», 1997. 210 p.
82. Tsvetkov V. F., Tsvetkov I.V. *Les v usloviyakh aerotekhnogennoy zagryazneniya* [Forest in

Conditions of Air-Technogenic Pollution.]. Arkhangel'sk, 2003. 354 p.

83. Problemy ekologii rastitelnykh soobshchestv Severa. Pod red. V. T. Yarmishko [Problems of Ecology of Plant Communities in the North. Under the editorship of V. T. Yarmishko]. Saint-Petersburg: LLC «VVM», 2005. 450 p.

84. Martynuk A. A. Osobennosti formirovaniya nadzemnoy fitomassy sosnovykh molodnyakov v usloviyakh tekhnogenogo zagryazneniya [Peculiarities of Forming of Aerial Phytomass of Young Pine Forest in Conditions of Technogenic Pollution]. *Lesovedenie* [Sylviculture]. 2008. № 1. P. 39-45.

85. Usoltsev V. A., Vorobeychik E.L., Bergman I.E. Biologicheskaya produktivnost lesov Urala v usloviyakh tekhnogenogo zagryazneniya: issledovanie sistemy svyazey i zakonomernostey [Biological Productivity of the Ural Forests in Conditions of Technogenic Pollution: Study of the System of Regularities]. Ekaterinburg: UGLTU, 2012. 366 p.

86. Korovin N. V., Stepanchik V.V., Kholodilova L.V. *Negativnoe vliyanie tekhnogenogo atmosfernogo zagryazneniya na sosnovye nasazhdeniya i puti ego snizheniya (na primere Gomelskogo promyshlennogo rayona)* [Negative Influence of Technogenic Atmospheric Pollution on Pine Plantations and Ways to Change the Situation for the Best (based on Gomel industrial region)]. Bryansk: BGITA, 2003. 143 p.

87. Shelukho V. P. *Bioindikatsiya khronicheskogo promyshlennogo vozdeystviya shchelochnogo tipa na komponenty khvoynykh lesonasazhdeniy* [Bioindication of Constant Industrial Influence of Alkaline Type on the Components of Coniferous Plantations]. Bryansk: BGITA, 2001. 205 p.

88. Glazovskiy N.F., Zlobina A.S., Uchvatov E.D. Ispolzovanie snezhnogo pokrova v indikatsii zagazovannosti promyshlennykh rayonov [Usage of Snow to Indicate Air Pollution in the Industrial Districts]. *Regionalnyy ekologicheskiy monitoring* [Regional Ecological Monitoring]. Moscow: Nauka, 1986. Pp. 79-83.

89. Virtsavs M. V., Stepanov A.M., Sychev V.V. *Metodicheskoe posobie po prigotovleniyu sukhikh kontsentratsiy zagryaznennykh prirodnykh vod dlya khimicheskogo analiza na sodержание mikroelementov* [Study Guide on Preparation of Dry Concentration of Polluted Water for the Chemical Analysis (Content of Microelements)]. Moscow: TSEPL RAN, 1992. 33 p.

90. Kozlov M. V. Snowpack Changes around a Nickel-Copper Smelter at Monchegorsk, Northwestern Russia. *Can. J. For. Res.* 2001. Vol. 31. Pp. 1684-1690.

91. Armolaitis K.E., Vaichis M.V., Kubyartavichene L.V., Raguotis A.D. Vliyanie vybrosov tsementnogo zavoda na fiziko-khimicheskie svoystva

lesnykh pochv [Influence of Cement Factory Emissions on Physical and Chemical Properties of Forest Soils]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 1995. № 9. P. 1160-1165.

92. Berinya D.Zh., Lapinya I.M. Emissiya industrialnoy kaltsisoderzhashchey pyli i okruzhayushchaya sreda [Emission of the Industrial Lime Dust and Environment]. *Zagryaznenie prirodnoy sredy kaltsisoderzhashchey pylyu* [Environment Pollution by Lime Dust]. Riga: Zinatne, 1985. Pp. 7-14.

93. Barkan V. Sh. Opyt ispolzovaniya passivnykh okisno-svintsovykh poglotiteley dlya otsenki kontsentratsii sernistogo gaza v atmosfere [An Experience of Usage of Passive Absorbers to Assess Concentration of Sulfur Vapor in the Atmosphere]. *Ekologiya* [Ecology]. 1992. № 4. Pp. 37-44.

94. Nikodemus O.E., Raman K.K. K metodike opredeleniya nakopleniya zagryaznyayushchikh elementov v lesnykh nasazhdeniyakh [To the Methods of Definition of Accumulation of Polluting Elements in Forest Stands]. *Vliyanie promyshlennogo zagryazneniya na lesnye ekosistemy i meropriyatiya po povysheniyu ikh ustoychivosti* [Influence of Industrial Pollution on Forest Ecosystems and the Actions to Improve their Sustainability]. Kaunas-Girionis: Litovskiy NIILKH, 1984. Pp. 30-31.

95. Sharkovskis P. A., Nikodemus O.E. Soderzhanie metallov v produktakh emissii na pridorozhnoy polose avtodorog Latvii [Content of the Metal in Emission Products on the Roadside of Motorroads of Latvia]. *Vliyanie vybrosov avtotransporta na prirodnyuyu sredu* [Influence of Auto Transport Emissions on Environment]. Riga: Zinatne, 1989. Pp. 5-21.

96. Zubareva O. N., Skripalshchikova L.N., Perevozchikova V.D. Akkumulyatsiya pyli komponentami berezovykh fitotsenozov v zone vozdeystviya izvestkovykh karerov [Dust Accumulation by the Components of Birch Phytocenosis in the Zone of Limestone Quarry]. *Ekologiya* [Ecology]. 1999. № 5. Pp. 339-343.

97. Koptsiik G. N., Lukina V.N., Koptsik S.V., et al. Pogloshchenie makroelementov i tyazhelykh metallov elyu pri atmosfernom zagryaznenii na Kolskom poluostrove [Macroelements and Heavy Metals Absorbption by Fir in Atmospheric Pollution at the Kola Peninsula]. *Lesovedenie* [Sylviculture]. 2008. № 2. Pp. 3-12.

98. Metodika vypolneniya izmereniy valovogo sodержaniya medi, kadmiya, tsinka, svintsa, nikelya, margantsa, kobalta, khroma metodom atomno-absorbtsionnoy spektroskopii [A Technique to Measure the Content of Cuprum, Cadmium, Zink, Plumbum, Nickel, Manganese, Cobalt, Chrome by Means of Atomic Absorption Spectroscopy]. Moscow: FGU FTSAO, 2007. 20 p.

99. Metody biogeokhimicheskogo issledovaniya rasteniy: pod red. A.I. Ermakova [Methods of Biogeo-

chemical Study of Plants: under the editorship of A.I. Ermakov]. Leningrad: Agropromizdat, 1987. 450 p.

100. Kurbanov E. A., Vorobyev O.N., Polevshchikova Yu.A., et al. Sravnitelnyy analiz sputnikovykh snimkov vysokogo razresheniya pri deshifirovani drevostoev, zagryaznennykh otkhodami silikatnogo proizvodstva [Comparative Analysis of Satellite Shots of High Resolution in Decoding the Stands, Polluted by the Silicate

Manufacturing Wastes]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie*. [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.]. 2013. № 2 (18). Pp. 74-90.

101. Kramer L., Kozlovskiy T. *Fiziologiya drevesnykh rasteniy* [Physiology of Woody Plants.]. Moscow: Goslesbumizdat, 1963. 628 p.

The article was received 19.01.15.

Citation for an article: Demakov Yu. P., Isaev A. V. Influence of aerial income of elements on their circulation in forest ecosystems. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2015. No 1 (25). Pp. 66-86.

Information about the authors

DEMAKOV Yuriy Petrovich – Doctor of Biological Sciences, Professor at the Chair of Ecology, Pedology and Nature Management at the Volga State University of Technology, chief researcher at the state national reserve «Bolshaya Kokshaga». The author of 270 publications, including 10 monographs and study guides.

ISAEV Alexander Viktorovich – Candidate of Agricultural Sciences, Deputy Director for Science at the state national reserve «Bolshaya Kokshaga». Research interests – biogeocenology, forest pedology. The author of 35 publications, including 1 monograph.

УДК 550.42

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ГОРОДСКИХ ЛАНДШАФТОВ

Е. А. Гончаров, Д. И. Пигалин, Н. Г. Шурков

Поволжский государственный технологический университет,
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
E-mail: GoncharovEA@volgatech.net

Приведены результаты геохимических исследований почв промышленной зоны г. Йошкар-Олы. Впервые получены данные о содержании и распределении в поверхностном слое почвы (0 – 10 см) таких элементов, как: As, Cr, Co, Sb, Br, Ba, Rb, Cs, Sr, Hf, Ta, Sc, Tb, Sm, Eu, La, Ce, Yb, Lu, U, Th, Au, Ag. Проведено сравнение содержания элементов промышленных городских ландшафтов с природными территориями и данными других исследователей. Повышенные среднегородские концентрации ($K_c > 1,1$) выявлены у Ca, Cs, Sb, Br, Au, Zn, Eu, Cr и Fe, при этом техногенные аномалии установлены для Ca, Sb, Br, Au, Zn, Cr и Fe. Оценка суммарного загрязнения изученными элементами почв промышленной зоны г. Йошкар-Олы показала относительно благополучную обстановку.

Ключевые слова: химический элемент; литогеохимическое опробование; городской ландшафт; почва; техногенное загрязнение.

Введение. Почвенный покров города – сложная и неоднородная природно-антропогенная биогеохимическая система. Наряду с застроенными участками распространены антропогенно-изменённые и естественные почвы (во дворах, в парках, на бульварах, пустырях). Продукты техногенеза, выпадая на земную поверхность, накапливаются в верхних горизонтах почв, изменяют их химический состав и вновь включаются в природные и техногенные циклы миграции. Как правило, современные уровни загрязнения почв формируются в течение последних 20 – 50 лет и являются наиболее стабильными индикаторами длительного техногенного воздействия, поэтому литогеохимическая индикация и картографирование являются одним из основных методов оценки экологического состояния городов [1].

Группой исследователей отмечается недостаточная геохимическая изученность городских почв, например, практически отсутствуют данные о редких и

редкоземельных элементах в почвах урбанизированных территорий городов России и зарубежья [2, 3]. В частности, по г. Йошкар-Оле опубликованы данные о незначительном перечне тяжёлых металлов (Pb, Zn, Cd и Cu) и радионуклидов (K-40 и Cs-137) [4], что не позволяет в полной мере выполнять оценку полиэлементного загрязнения почвы.

В связи с этим была поставлена **цель** – получение новых эмпирических данных о содержании ряда щелочных, щёлочно-земельных, редкоземельных и переходных металлов, в т.ч. радионуклидов, а также пниктогенных и галогенных элементов для оценки характера их распределения и уровня техногенного воздействия на почвы г. Йошкар-Олы.

Актуальность данных исследований также обусловлена сложностью экологического нормирования почв, следовательно, и оценки уровней техногенного воздействия, вследствие значительного варьирования почвенных свойств и видов тех-

© Гончаров Е. А., Пигалин Д. И., Шурков Н.Г., 2015.

Ссылка на статью: Гончаров Е. А., Пигалин Д. И., Шурков Н.Г. Эколого-геохимическая оценка почвенного покрова городских ландшафтов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 1 (25). – С. 87-97.

ногенных воздействий. Поэтому одним из основных подходов в решении данной проблемы представляется определение региональных нормативов, или фоновых концентраций, для конкретных почвенно-экологических условий.

Материал и методика. На первом этапе разрабатывалась геоинформационная система для почвенно-геохимических исследований, включающая цифровую модель рельефа (ЦМР), построенную по данным топографической радиолокационной съёмки SRTM, и геологическую основу, которая позволила выделить геоморфологические и геологические особенности территории города. На рис. 1 приведена карта рельефа юго-западной (промышленной) части г. Йошкар-Олы.

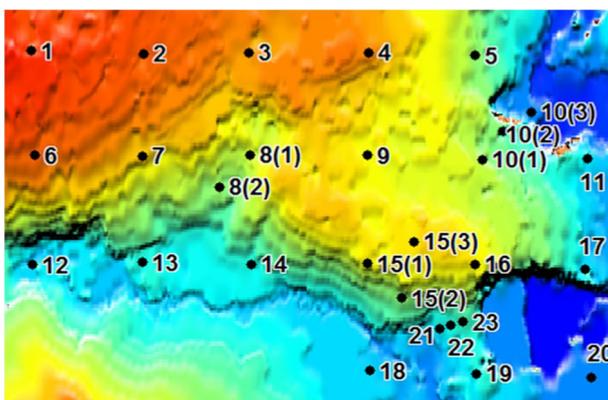


Рис. 1. 3D-визуализация рельефа юго-западной (промышленной) части г. Йошкар-Олы и точки опробования

Данный участок представлен поймами (на рис. 1 выделены оттенками синего) реки Малая Кокшага (восточная часть рис. 1) и её правого притока реки Нолька (южная часть рис. 1), сложенными современными аллювиальными отложениями (пески, алевриты, глины), и надпойменными террасами (мончаловский-осташковский горизонты первой надпойменной террасы (на рис. 1 – жёлто-оранжевые тона) и микулинский-калининский горизонты второй надпойменной террасы (на рис. 1 – оранжевые тона), образованными неоплейстоценовыми аллювиальными отложениями (пески, алевриты, глины) с преобладанием песчаных

фракций. В северо-западной части рассматриваемой территории – участок террасовидной равнины (лихвинский горизонт – подмосковный надгоризонт), сложенный озёрно-аллювиальными отложениями песчаного и суглинистого состава (на рис. 1 – оттенки красного). На данных отложениях сформировались аллювиальные и дерново-слабо- и среднеподзолистые почвы.

Полевые исследования выполнялись в соответствии с методиками геохимического опробования почв и радиологического обследования населённых пунктов: литогеохимическое опробование выполнено по регулярной сетке с шагом 1 км, с уточнением вокруг крупных предприятий (рис. 1), пробы грунта отбирались методом конверта из поверхностного слоя (0 – 10 см), предварительно очищенного от верхнего дернового слоя; пробоподготовка включала сушку проб, удаление включений, просеивание через сито с отверстиями Ø 1 мм и измельчение на виброистирателе; подготовленные навески анализировались на базе аккредитованной лаборатории Томского политехнического университета методом инструментального нейтронно-активационного анализа [2]; в точках опробования также проводилась гамма-съёмка портативным спектрометром «Мультирад» и отбор проб почвы для лабораторного гамма-спектрометрического анализа стандартным пробоотборником Ø 40 мм на глубину 10 и 20 см, далее пробы почвы высушивались, просеивались и анализировались на базе аккредитованной лаборатории радиационного контроля Поволжского государственного технологического университета.

При этом изучались следующие параметры:

- методом инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) – массовая концентрация (валовое содержание) элементов в почве (щелочные металлы – Na, Rb, Cs; щёлочно-земельные металлы – Ca, Sr, Ba, Ra; пниктогены – As, Sb; галогены – Br; переходные металлы: Ag, Au,

Zn, редкоземельные элементы (Sc и лантаноиды: La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu), актиноиды (Th, U), Hf, Ta, Cr, Fe и Co);

- методом гамма-спектрометрического анализа – удельная активность природных (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) и техногенных (^{137}Cs) радионуклидов в почве.

По данным гамма-спектрометрической съёмки рассчитывались:

- поверхностная плотность загрязнения почвы радионуклидами P (кБк/м²) по формуле (1):

$$P = (A_{\text{уд}} \cdot m) / S, \quad (1)$$

где $A_{\text{уд}}$ – удельная активность радионуклида в почвенном слое, кБк/кг; m – масса почвенного послойного образца, отобранная с фиксированной площади, кг; S – площадь пробоотбора, м²; с учётом параметров пробоотборника (\varnothing 40 мм) и количества отбираемых кернов (в каждой точке опробования 8 кернов) формула (1) примет вид:

$$P = 100 \cdot A_{\text{уд}} \cdot m; \quad (2)$$

- показатель эффективной удельной активности естественных радионуклидов (ЕРН) $A_{\text{эфф}}$ (Бк/кг) по формуле (3)*:

$$A_{\text{эфф}} = A_{\text{Ra}} + 1,3 A_{\text{Th}} + 0,09 A_{\text{K}}, \quad (3)$$

где A_{Ra} , A_{Th} , A_{K} – удельные активности ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K , Бк/кг;

- массовая концентрация C (мг/кг) радиоактивных изотопов в почвенном слое 0 – 10 см по формуле (4):

$$C = A_{\text{уд}} \cdot A \cdot T_{1/2} \cdot 1,16^{-1} \cdot 10^{-17}, \quad (4)$$

где $A_{\text{уд}}$ – удельная активность радионуклида в почвенном слое 0 – 10 см, Бк/кг; A – массовое число радионуклида, $T_{1/2}$ – период полураспада в часах.

При этом оценка содержания K в почве проводилась по ^{40}K , который составляет 0,0117 % от природного калия [5], а содержание Ra – по ^{226}Ra как основному наиболее долгоживущему изотопу (так, например, концентрация ^{228}Ra при условии радиоактивного равновесия будет составлять при-

мерно 4×10^{-10} доли от концентрации материнского радионуклида ^{232}Th , т.е. концентрацией ^{228}Ra в почве можно пренебречь).

Далее результаты анализов подвергались статистической обработке – рассчитывались описательные статистики. Для выявления аномальных участков на исследуемой территории по каждому элементу из выборки удалялись (при наличии) заведомо аномальные значения. При условии удаления аномальных значений наиболее часто встречаемое содержание химического элемента можно считать его геохимическим фоном, а утроенное значение среднего квадратичного отклонения («правило 3s») – использовать как критерий аномальности [1].

Для оценки полиэлементного загрязнения почв рассчитывался суммарный показатель загрязнения почв Z_c , представляющий собой сумму превышений коэффициентов концентрации над единичным (фоновым) содержанием по формуле (5) [1, 6]:

$$Z_c = \sum K_c - (n - 1), \quad (5)$$

где K_c – коэффициент концентрации (отношение содержания химического элемента в оцениваемом объекте к его фоновому содержанию); n – число химических элементов с $K_c > 1$.

Результаты и их обсуждение. Результаты обработки данных измерений для промышленной территории г. Йошкар-Олы приведены в табл. 1, 2 и на рис. 2.

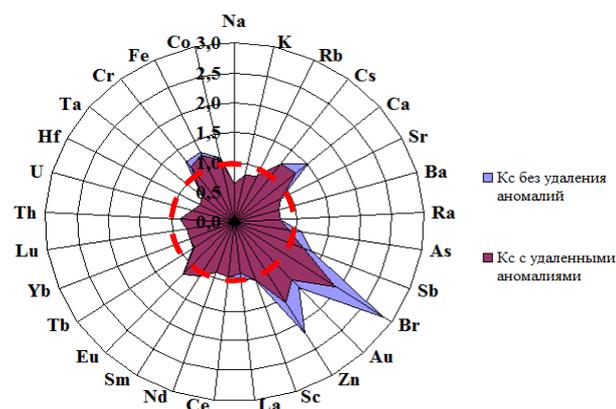


Рис. 2. Коэффициенты концентраций химических элементов в почвах промышленной зоны г. Йошкар-Олы относительно фона

* СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009» (утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07.07.2009 г. № 47)

Таблица 1

Содержание изучаемых химических элементов в компонентах литосферы

Химический элемент	Кларк в земной коре [7], мг/кг	Кларк в горных породах, мг/кг		Содержание в почвах [2, 5, 7, 8], мг/кг	Содержание в почвах населенных пунктов [2, 3], мг/кг	Содержание на природных территориях, прилегающих к г. Йошкар-Оле, мг/кг
		глина [7, 8]	песчаник [5, 7, 8]			
Na	25000	6600	3300-17000	4600-13400	5800	7770
K	25000	22800-26600	10700-11000	13100-20000	13400	12660
Rb	150	120-200	40-60	17,2-100	58,0	56,9
Cs	3,7	5-12	0,1-2	0,3-5,0	n×10	1,272
Ca	39600	25300	13000-39100	4000-14000	53800	8200
Sr	340	300-450	20-140	100-675	70-458	87
Ba	650	500-800	10-300	100-560	853,0	321
Ra	n×10 ⁻⁶	-	-	8×10 ⁻⁷	-	4,77×10 ⁻⁷
As	1,7	6-13	1-1,2	4,0-8,2	15,9	3,05
Sb	0,5	1,2-2	0,01-0,05	0,25-1,0	1,0	0,346
Br	2,1	5-10	1-20	1,0-10,0	8,8	0,50
Ag	0,07	0,07-0,1	0,003-0,25	0,01-0,5	0,4	<0,2
Au	0,0043	0,001-0,004	0,0005-0,007	0,001-0,005	0,008	0,006
Zn	80	80-120	15-30	31-82,5	158	42,3
Sc	10	12-15	1-3	5,0-15,8	9,4	5,52
La	29,0	30-90	17-40	17,3-50	34,0	16,08
Ce	70	50-80	25-92	33,4-61,5	28-59	38,20
Nd	37,0	23-35	16-38	20-33	-	15,18
Sm	8,0	6-6,5	4-10	3,9-8,0	3,0-5,7	2,51
Eu	1,3	1-1,8	0,7-2	1,0-1,9	0,6-1,6	0,411
Tb	4,3	0,9-1,1	1,6-2	0,1-1,1	0,3-1,0	0,506
Yb	0,33	2,6-3,6	1,2-4,4	0,9-4,0	2,4	2,53
Lu	0,8	0,7	0,8-1,2	0,16-0,4	0,2-0,4	0,345
Th	13,0	9,6-12	1,7-5	3,4-10,5	-	5,45
U	2,5	3-4	0,45-1,3	0,5-11,0	-	2,84
Hf	1,0	2,8-6	3-6	3,8-5,9	3-7	12,15
Ta	2,5	0,8-3,5	0,01-1,5	0,16-2,7	1,5	0,907
Cr	83,0	80-120	35	18,0-230	80-100	199,9
Fe	64500	33000-47000	9800-30000	13300-38000	22300	13400
Co	18,0	14-20	0,3-10	3,5-15,3	14,1	7,74

Таблица 2

Результаты статистической обработки данных инструментального нейтронно-активационного анализа

Химический элемент	Кларк в земной коре [7], мг/кг	x, мг/кг	min, мг/кг	max, мг/кг	s	V, %	Городской фон, мг/кг	Порог положительной аномалии, мг/кг
Na	25000	5019	1500	8930	1697	33,8	5019	10111
K	25000	10146	3363	16518	3964	39,1	10146	22039
Rb	150	48,0	11,2	80,9	14,8	30,9	48,0	92,4
Cs	3,7	1,553	0,493	2,830	0,434	27,9	1,553	2,854
Ca	39600	12479	2200	29600	6338	50,8	10300	19504
Sr	340	71,6	20,0	159,0	37,2	51,9	71,6	183,1
Ba	650	237,6	75,0	400,0	75,2	31,6	237,6	463,2
Ra	n×10 ⁻⁶	3,51×10 ⁻⁷	1,89×10 ⁻⁷	5,59×10 ⁻⁷	1,12×10 ⁻⁷	32,0	3,51×10 ⁻⁷	6,87×10 ⁻⁷
As	1,7	3,26	0,05	11,39	2,85	87,4	2,66	8,09

Окончание таблицы 2

Химический элемент	Кларк в земной коре [7], мг/кг	x, мг/кг	min, мг/кг	max, мг/кг	s	V, %	Городской фон, мг/кг	Порог положительной аномалии, мг/кг
Sb	0,5	0,461	0,148	1,311	0,241	52,2	0,410	0,853
Br	2,1	1,426	0,067	14,361	2,796	196,0	0,964	4,860
Ag	0,07	<0,2	-	0,6	-	-	<0,2	<0,2
Au	0,0043	0,009	0,002	0,026	0,005	54,4	0,008	0,016
Zn	80	91,7	14,2	286,3	67,8	73,9	67,0	139,0
Sc	10	5,71	1,69	8,86	1,39	24,3	5,71	9,87
La	29,0	15,25	4,95	26,56	4,70	30,8	13,91	24,17
Ce	70	35,13	12,70	51,40	9,379	26,7	35,13	63,27
Nd	37,0	13,57	5,75	22,82	3,95	29,1	13,57	25,41
Sm	8,0	2,68	0,95	5,31	0,82	30,7	2,68	5,14
Eu	1,3	0,494	0,199	0,896	0,166	33,6	0,494	0,992
Tb	4,3	0,396	0,080	0,714	0,128	32,4	0,384	0,728
Yb	0,33	1,89	0,49	2,93	0,57	30,4	1,89	3,62
Lu	0,8	0,263	0,061	0,460	0,092	35,1	0,263	0,540
Th	13,0	4,71	1,29	7,27	1,30	27,7	4,71	8,6
U	2,5	1,99	0,38	3,25	0,67	33,8	1,99	4,00
Hf	1,0	7,5	2,7	12,5	2,4	31,4	7,5	14,6
Ta	2,5	0,604	0,166	1,108	0,224	37,1	0,604	1,276
Cr	83,0	252,5	150,5	476,0	93,0	36,8	228,6	442,1
Fe	64500	17321	5300	30900	4782	27,6	16422	26946
Co	18,0	8,50	2,82	13,90	2,24	26,4	8,15	13,85

Положительные аномалии концентрации элементов установлены для Ca, As, Sb, Br, Ag (содержание Ag выше порога чувствительности ИНАА было выявлено только в одной точке, поэтому указанный элемент был исключён из дальнейшего анализа), Au, Zn, La, Sm, Cr, Fe, Co и носят единичный характер (наблюдаются не более чем в 1 – 2 точках опробования), но в то же время оказывают влияние на увеличение средних концентраций элементов (на рис. 2 – сиреневая область диаграммы), и, как правило, исключаются из статистической обработки геохимической информации или заменяются на средние значения [1, 3]. В результате статистической обработки были определены «городские фоны» (средние концентрации элементов с исключением положительных аномалий), которые используются для расчёта коэффициентов концентрации (относительно концентрации элементов на природной (фоновой) территории – рис. 2) и для сравнения геохимических особенностей разных территорий (населённых

пунктов), и были определены пороговые значения положительных аномалий («городской фон» + 3s) содержания элементов в городских почвах.

Сравнивая полученные нами значения содержания элементов на природных территориях, прилегающих к г. Йошкар-Оле, с данными других исследователей [2, 5, 7, 8], следует отметить, что концентрации большинства из них соответствуют фоновому содержанию в почвах, пониженное содержание отмечено у Sr, Br, Nd, Sm и Eu, что соответствует элементному составу песчаных почвообразующих пород. Повышенные природные концентрации выявлены только у Au и Hf, что необходимо учитывать при оценке техногенных территорий.

При сопоставлении средних концентраций элементов на техногенных территориях с природными концентрациями можно сделать следующие выводы:

- пониженное содержание ($K_c < 0,9$) в почвах промышленной зоны г. Йошкар-Олы характерно для Na, K, Rb, Sr, Ba, Ra,

Tb, Yb, Lu, Th, U, Hf и Ta, что в первую очередь связано с изменением почвенного покрова в процессе строительства (увеличением песчаной фракции);

- содержание, соответствующее природному ($K_c 0,9 - 1,1$), – для As, Sc, La, Ce, Nd, Sm и Co; в то же время у четырёх элементов (As, La, Sm и Co) отмечены единичные пробы с аномальными концентрациями техногенного характера;

- повышенные средние концентрации ($K_c > 1,1$) выявлены у Ca, Cs, Sb, Br, Au, Zn, Eu, Cr и Fe, при этом техногенные аномалии установлены для Ca, Sb, Br, Au, Zn, Cr и Fe.

Наличие повышенных концентраций таких элементов, как: Ca, Cs, As, Sb, Au, La, Sm, Eu, Cr, Co и Fe [9, 10] может быть объяснено деятельностью широко распространённых в недавнем прошлом котельных на твёрдом топливе, что подтверждается данными микроскопических исследований почвенных образцов (наличием частичек сажи). Повышенное содержание Ca и Fe характерно для городских ландшафтов в связи с деятельностью предприятий стройиндустрии (также Sb при производстве кирпича [1]), металлообработки, строительства зданий и дорог [1, 2]. Источниками загрязнения Zn является гальваническое производство (также Cr [1]), полупроводниковая и электротехническая (также Au) промышленность. Источником брома могут быть фармацевти-

ческое производство [2], автомобильный транспорт (также Sb [1]) и лесные пожары (перенос аэральные впадений).

В целом средние концентрации элементов в почвах промышленной зоны г. Йошкар-Олы либо значительно ниже (большинство изученных элементов) концентраций в почвах населённых пунктов России и мира [3], либо соответствуют таковым (Sr, Au, Ce, Sm, Lu и Hf) [2]. Исключение из изученных элементов составляет Cr, содержание которого в 2,3 – 2,8 раза выше, чем средние значения, характерные для городских почв России и мира. При этом необходимо учитывать значительный вклад природного Cr (около 80 %).

На городских почвах содержание техногенных радионуклидов ^{137}Cs значительно ниже, чем на природной территории (табл. 3).

На природных территориях цезий аэральные выпадений сконцентрирован в поверхностном слое почвы (70 – 90 % техногенных радионуклидов сосредоточено в верхнем 0 – 10 см слое), что соответствует ранее полученным данным [11]. На техногенных территориях распределение цезия в слое 0 – 20 см становится равномерным (с учётом плотности сложения почвы) в результате трансформации почв при строительных работах и перемешивания (или заменой) поверхностного загрязнённого слоя, что может служить показателем нарушения почвенного покрова.

Таблица 3

Результаты статистической обработки данных гамма-спектрометрического анализа

Радионуклид	Содержание радионуклида на природных территориях, прилегающих к г. Йошкар-Оле		Содержание радионуклида в почве (в слое 0-10 см) промышленной зоны г. Йошкар-Олы						
	Удельная активность в слое 0-10 см, Бк/кг	Содержание в единицах массы, мг/кг	\bar{x} , Бк/кг	min, Бк/кг	max, Бк/кг	s	V, %	Порог положительной аномалии, Бк/кг	Содержание в единицах массы, мг/кг
^{40}K	40,4-384,0	0,16-1,48	295,1	102,0	501,0	115,7	39,2	642,1	0,39-1,93
^{226}Ra	5,0-17,5	$(1,4-4,8) \times 10^{-7}$	12,8	6,9	20,5	4,2	34,3	24,6	$(1,9-5,6) \times 10^{-7}$
^{232}Th	1,6-18,9	0,4-4,2	15,9	6,2	27,0	6,1	38,6	34,2	1,5-6,7
^{137}Cs	11,0-23,5	$(3,4-7,3) \times 10^{-9}$	2,6	0,0	6,4	2,1	80,4	9,0	$(0,0-2,0) \times 10^{-9}$

У естественных радионуклидов (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) отмечена тенденция к увеличению содержания на промышленной территории, что связано в первую очередь со значительной долей пойменных участков, для которых характерны повышенные концентрации естественных радионуклидов [11], и с использованием привозных строительных материалов (грунтов, щебня). Распределение природных радионуклидов по почвенному профилю повсеместно имеет равномерный характер. Сопоставление данных гамма-спектрометрии и ИНАА показало, что доля техногенного радиоактивного ^{137}Cs в среднем составляет $5,5 \times 10^{-8} \%$ от валового цезия, измеренного методом ИНАА. Следовательно, отсутствует корреляция между данными сравниваемых методов измерений. По Th, наоборот, прослеживается тесная положительная связь, что говорит о преобладании ^{232}Th в валовом содержании данного элемента.

В целом, положительные техногенные аномалии содержания радионуклидов отсутствуют, содержание техногенного ^{137}Cs соответствует уровням глобальных радиоактивных выпадений [12], а естественных изотопов – их природному содержанию в почвообразующих породах.

С целью характеристики пространственного распределения элементов и радиационных параметров для каждой точки

опробования были рассчитаны показатели полиэлементного химического загрязнения Zc, эффективной удельной активности природных радионуклидов и плотности поверхностного загрязнения почвы техногенным ^{137}Cs .

Проблемой при использовании показателя Zc является определение фонового уровня содержания элементов. В качестве фонового уровня могут быть использованы ПДК, кларки элементов в почве (земной коре), фоновые концентрации на природных территориях (расположенных в аналогичных ландшафтно-геохимических условиях, что и территории с техногенным воздействием). В данной работе в качестве критериального уровня содержания элементов было использовано среднее содержание элементов в почвах природных территорий, прилегающих к г. Йошкар-Оле и расположенных в аналогичных ландшафтных условиях, что и территории обследованной промышленной зоны (табл. 1, 2).

В геоинформационной системе были построены карты значений суммарного показателя Zc, применяемого для оценки полиэлементного химического загрязнения почвы (рис. 3), и эффективной удельной активности природных радионуклидов (рис. 4) и поверхностной плотности загрязнения почвы ^{137}Cs (рис. 5).

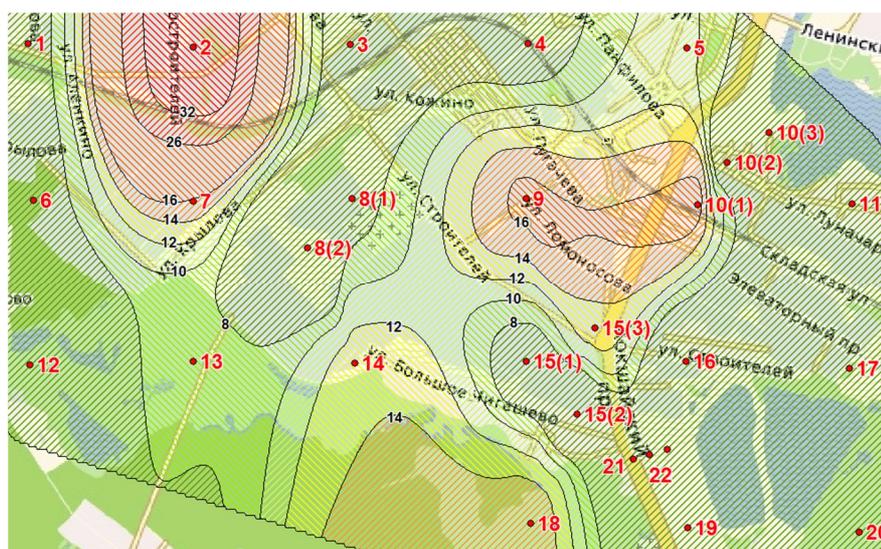


Рис. 3. Карта показателя полиэлементного загрязнения Zc

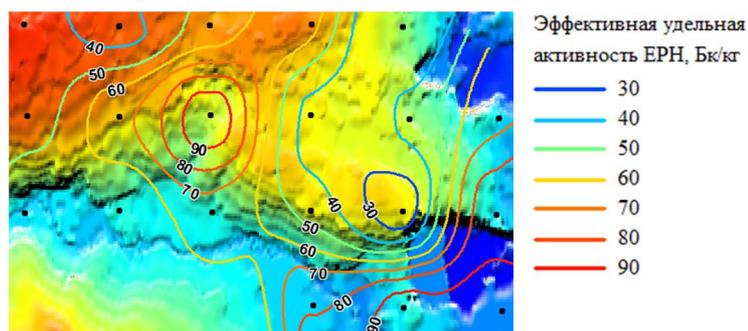


Рис. 4. Карта эффективной удельной активности естественных радионуклидов (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th)

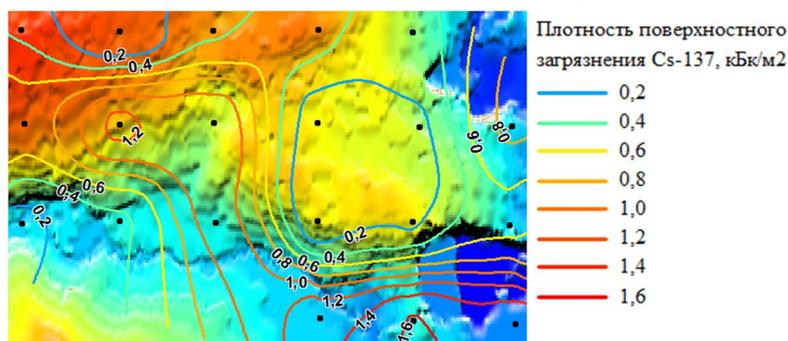


Рис. 5. Карта поверхностной плотности загрязнения почвы ^{137}Cs

По величине суммарного показателя загрязнения Z_c [6] большая часть изученной территории относится к территориям с низкой степенью загрязнения – $Z_c < 16$ (среднее значение для промышленной зоны 8,5).

Средняя степень загрязнения (Z_c 16 – 17) установлена в районе ул. Ломоносова и ул. Карла Маркса (на рис. 3 – точки 9 и 10), которая обусловлена элементами Вг, Zn, Са, Au, Sb и Сг. Повышенный уровень содержания (Z_c 15,4) по всем элементам отмечается в пойме реки Нолька (на рис. 3 – точка 18), занимающей самый низкий гипсометрический уровень в системе геохимически сопряженных ландшафтов промышленной территории г. Йошкар-Олы).

Максимальный уровень загрязнения (классифицируемый как средняя и высокая степень загрязнения Z_c от 16 до 37) по изученному спектру химических элементов выявлен на участке от ул. Машиностроителей до ул. Крылова (на рис. 3 – линия точка 2 – точка 7), на котором сконцентрированы металлообрабатывающие производства и гаражные кооперативы. Основной вклад здесь вносят Вг и Zn, а также Са, As, Sb и Fe.

Анализируя данные пространственного распределения радионуклидов, следует от-

метить их повышенное содержание в геосистемах низшего гипсометрического уровня с механически ненарушенным почвенным покровом (в этих условиях наблюдается максимальное содержание техногенного цезия и естественных радионуклидов (^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th). Минимальное содержание радионуклидов характерно для автоморфных элювиальных участков. В целом по уровню содержания ЕРН (максимальные значения $A_{эфф} < 95$ Бк/кг) почвогрунты г. Йошкар-Олы соответствуют нормам радиационной безопасности (370 Бк/кг).

Выводы

1. Впервые для г. Йошкар-Олы проведена геохимическая оценка содержания широкого спектра химических элементов, при этом концентрация большинства элементов обусловлена природными факторами и близка к содержанию в песчаных породах.

2. Пониженное содержание ($K_c < 0,9$) в почвах промышленной зоны г. Йошкар-Олы характерно для Na, K, Rb, Sr, Ba, Ra, Tb, Yb, Lu, Th, U, Hf и Ta, что в первую очередь связано с изменением почвенного покрова в процессе строительства (увеличением песчаной фракции).

3. Содержание, соответствующее при-

родному (K_c 0,9 – 1,1), установлено для As, Sc, La, Ce, Nd, Sm и Co; в то же время у четырёх элементов (As, La, Sm и Co) отмечаются пробы с аномальными концентрациями техногенного характера.

4. Повышенные среднегородские концентрации ($K_c > 1,1$) выявлены у Ca, Cs, Sb, Br, Au, Zn, Eu, Cr и Fe, при этом техногенные аномалии установлены для Ca, Sb, Br, Au, Zn, Cr и Fe.

5. В целом средние концентрации элементов в почвах промышленной зоны г. Йошкар-Олы либо значительно ниже (большинство изученных элементов) концентраций в почвах населённых пунктов России и мира, либо соответствуют таковым (Sr, Au, Ce, Sm, Lu и Hf); исключение из изученных элементов составляет Cr, содержание которого в 2,3 – 2,8 раза выше, чем средние значения, характерные для городских почв России и мира (при этом вклад природного Cr составляет около 80 %).

6. По величине суммарного показателя загрязнения Z_c большая часть изучен-

ной территории относится к территориям с низкой степенью загрязнения ($Z_c < 16$); средняя степень загрязнения (Z_c 16 – 17) установлена в районе ул. Ломоносова и ул. Карла Маркса (обусловлена элементами Br, Zn, Ca, Au, Sb и Cr), высокая степень загрязнения (Z_c до 37) выявлена на участке от ул. Машиностроителей до ул. Крылова (основной вклад вносят Br и Zn, а также Ca, As, Sb и Fe).

7. В распределении техногенных радионуклидов ^{137}Cs решающую роль на территории города играет строительная трансформация грунтов; распределение естественных радионуклидов (K-40, Ra-226, Th-232) зависит от минералогического состава почвогрунтов и положения в каскадной ландшафтно-геохимической системе; в целом положительных аномалий в распределении радионуклидов на изученной территории не выявлено; содержание естественных радионуклидов соответствует нормам радиационной безопасности, а техногенного ^{137}Cs – уровням глобальных радиоактивных выпадений.

Исследования выполнялись в рамках гранта Русского географического общества (тема «Геохимическая характеристика почв территории г. Йошкар-Олы»).

Список литературы

1. Перельман, А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман, Н.С. Касимов. – М.: Астрель 2000, 1999. – 768 с.
2. Язиков, Е.Г. Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв / Е.Г. Язиков, А.В. Таловская, Л.В. Жорняк. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 264 с.
3. Алексеенко, В.А. Химические элементы в геохимических системах. Кларк почв селитебных ландшафтов: монография / В.А. Алексеенко, А.В. Алексеенко. – Ростов н/Д: издательство Южного федерального университета, 2013. – 388 с.
4. Доклад об экологической ситуации в Республике Марий Эл за 2012 год. – Йошкар-Ола: ГУП РМЭ «Типография Правительства Республики Марий Эл», 2013. – 219 с.
5. Reimann, C. Chemical elements in the environment: factsheets for the geochemist and environmental scientist / C. Reimann, P. Caritat. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1998. – 398 p.
6. Сает, Ю.Е. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Сает, Б.А. Ревич, Е. П. Янин и др. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
7. Справочник по геохимии / Г.В. Войткевич, А.В. Кокин, А.Е. Мирошников, В.Г. Прохоров. – М.: Недра, 1990. – 480 с.
8. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
9. Рихванов, Л.П. Общие и региональные проблемы радиозащиты / Л.П. Рихванов. – Томск: Изд-во ТПУ, 1997. – 384 с.
10. Арбузов, С.И. Геохимия редких элементов в углях Сибири / С.И. Арбузов, В.В. Ершов. – Томск: Изд. дом «Д-Принт», 2007. – 468 с.
11. Гончаров, Е. А. Распределение техногенных и естественных радионуклидов в лесных экосистемах заповедника «Большая Кокшага» / Е. А. Гончаров, Д. И. Пигалин // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2013. – № 4 (20). – С. 76-87.
12. Atlas of cesium deposition of Europe after the Chernobyl accident. - Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1998. – CD-ROM.

Статья поступила в редакцию 05.02.15.

Информация об авторах

ГОНЧАРОВ Евгений Алексеевич – кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой экологии, почвоведения и природопользования Института леса и природопользования, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – природопользование, радиоэкология, геохимия окружающей среды. Автор 63 публикаций. E-mail: GoncharovEA@volgatech.net

ПИГАЛИН Дмитрий Иванович – магистрант Института леса и природопользования, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – природопользование, радиоэкология, геохимия окружающей среды. Автор пяти публикаций. E-mail: pigalin.dima@yandex.ru

ШУРКОВ Николай Геннадьевич – магистрант Института леса и природопользования, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – радиоэкология. E-mail: shurkovniron@mail.ru

UDK 550.42

**ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL ASSESSMENT OF SOIL COVER
IN THE URBAN AREAS****E. A. Goncharov, D. I. Pigalin, N. G. Shurkov**

Volga State University of Technology,
3, Lenin Sq, Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation
E-mail: GoncharovEA@volgatech.net

Keywords: *chemical element; bulk rock geochemical sampling; urban landscape; soil; technogenic pollution.*

ABSTRACT

Introduction. *Urban soil landscape is the most stable indicator of a long-term man-made impact. In the scientific literature, there is practically no data about rare and rare earth metals in the urban soil of Russia and other countries. Thus, the goal of the research was to obtain the data about the content of a number of chemical elements (Na, K, Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As, Br, Rb, Sr, Ag, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Au, Ra, Th, U) to assess the nature of distribution and the level of man-made impact on the soils in the industrial area of Yoshkar-Ola city. The method was intended to elaborate the geoinformation basis for the study area, bulk rock geochemical sampling and the measurement by means of instrumental neutron activation and gamma-spectrometric analyses, statistical processing and calculation of geochemical and radioecological indices (the backgrounds of natural and industrial areas, concentration ration of the elements in the industrial area relative to the natural background (Kc), indices of polyelemental pollution (Zc)). Results.* *In the natural area, concentration of the most elements satisfies the background matter content in the soil, determined by other researchers; nevertheless, there was low content of Sr, Br, Nd, Sm and Eu; and high content of Au and Hf in the area. It is important to take into account this fact to assess the industrial area. In the industrial area, there was low content (Kc<0,9) of Na, K, Rb, Sr, Ba, Ra, Tb, Yb, Lu, Th, U, Hf and Ta; there was close to the indices which were typical for the natural area (Kc 0,9 – 1,1) content of As, Sc, La, Ce, Nd, Sm and Co; and there was high content (Kc>1,1) of Ca, Cs, Sb, Br, Au, Zn, Eu, Cr and Fe; content of the ¹³⁷Cs man-caused radioactive nuclides was significantly lower in the industrial area than in the natural area, distribution of the natural radioactive nuclides (⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²³²Th) depended on the mineral composition of the soil and the location in the landscape. Content of Zc was low in the most part of the studied area (mean value Zc 8,5). High level of polyelement pollution was found to be in the two zones (a zone with Zc 16 – 17 and the zone with Zc 16 – 37); it is explained by Br, Zn, Ca, As, Sb and Fe content. Conclusion:* *a summary assessment of the soil pollution in the industrial area of Yoshkar-Ola and a comparison with the data, obtained in some other cities, showed relatively safe environment in the studied city. Concentration of the most elements is explained by the natural factors (they are close to concentration, which is typical for the sandy soil) and soil transformation during the building works.*

Researches were carried out within the grant of Russian Geographical Society (topic «Geochemical Characteristics of Soils of Yoshkar-Ola»).

REFERENCES

1. Perelman A.I., Kasimov N.S. *Geokhimiya landshafta* [Geochemistry of Landscape]. Moscow: Astreya, 2000, 1999. 768 p.
2. Yazikov E.G., Talovskaya A.V., Zhornyak L.V. Otsenka ekologo-geokhimicheskogo sostoyaniya territoriy g. Tomsk po dannym izucheniya pylaerozoley i pochv [An Assessment of Ecological and Geochemical Condition in Tomsk by the Study Data of Aerosols and Soils]. Tomsk: Izdatelstvo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2010. 264 p.
3. Alekseenko V.A., Alekseenko A.V. *Khimicheskie elementy v geokhimicheskikh sistemakh. Klark pochv selitebnykh landshaftov: monografiya*. [Chemical Elements in Geochemical Systems. Clarke of Soils in the Landscapes Intended for Building: monograph]. Rostov-on-Don: Izdatelstvo Uzhnogo federalnogo universiteta, 2013. 388 p.
4. Doklad ob ekologicheskoy situatsii v Respublike Mariy El za 2012 god [A Report on Ecological Situation in the Republic of Mari El for 2012]. Yoshkar-Ola, 2013. 219 p.
5. Reimann C., Caritat P. Chemical Elements in the Environment: Factsheets for the Geochemist and Environmental Scientist. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1998. 398 p.
6. Saet Yu.E., Revich B.A., Yanin E.P., et al. *Geokhimiya okruzhayushchey sredy* [Geochemistry of Environment.]. Moscow: Nedra, 1990. 335 p.
7. Voitkevich G.V., Kokin A.V., Miroshnikov A.E., Prokhorov V.G. *Spravochnik po khimii* [A Manual on Chemistry]. Moscow: Nedra, 1990. 480 p.
8. Kabata-Pendias A., Pendias Kh. *Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh* [Microelements in Plants and Soils]. Moscow: Mir, 1989. 439 p.
9. Rikhvanov L.P. *Obshchie i regionalnye problemy radioekologii* [General and Regional Problems of Radioecology]. Tomsk: Izdatelstvo TPU, 1997. 384 p.
10. Arbuzov S.I., Ershov V.V. *Geokhimiya redkikh elementov v uglyakh Sibiri* [Geochemistry of Rare Elements in the Siberia Coal Deposits]. Tomsk: Izdatelstvo «D-Print», 2007. 468 p.
11. Goncharov E. A., Pigalin D.I. Raspredelenie tekhnogennykh i estestvennykh radionuklidov v lesnykh ekosistemakh zapovednika «Bolshaya Kokshaga» [Distribution of Anthropogenic and Natural Radioactive Nuclides in Forest Ecosystems of the «Bolshaya Kokshaga» Natural Reserve]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie*. [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2013. № 4. Pp. 76-87.
12. Atlas of Cesium Deposition of Europe after the Chernobyl Cccident. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1998. CD-ROM.

The article was received 05.02.15.

Citation for an article: Goncharov E. A., Pigalin D. I., Shurkov N. G. Ecological and geochemical assessment of soil cover in the urban areas. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2015. No 1 (25). Pp. 87-97.

Information about the authors

GONCHAROV Evgeny Alexeyevich – Candidate of Agricultural Sciences, Head at the Chair of Ecology, Pedology and Nature Management, Institute of Forestry and Nature Management, Volga State University of Technology. Research interests – nature management, radioecology, geochemistry of environment. The author of 63 publications. E-mail: GoncharovEA@volgatch.net

PIGALIN Dmitry Ivanovich – student at the Master's program, Institute of Forestry and Nature Management, Volga State University of Technology. Research interests – nature management, radioecology, geochemistry of environment. The author of five publications. E-mail: pigalin.dima@yandex.ru

SHURKOV Nikolay Gennadiyevich – student in the Master's program, Institute of Forestry and Nature Management, Volga State University of Technology. Research interests – radioecology. E-mail: shurkovniron@mail.ru

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

III МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА»

В период с 21 по 24 сентября 2015 года на базе Костромского государственного технологического университета планируется проведение III-й Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса».

Основные направления работы конференции:

- Строение и свойства древесины и древесных материалов.
- Современные технологические процессы получения изделий из древесины.
- Разработка клеевых композиций и древесно-полимерных композиционных материалов.
- Прогрессивные технологии и техника лесозаготовительного и лесовосстановительного производств.
- Экологические аспекты технологии лесовосстановительных, лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств.
- Экономика и управление предприятиями лесопромышленного комплекса.

В рамках работы конференции будут обсуждены актуальные вопросы рационального природопользования и комплексной переработки древесного сырья, модернизации и разработки высокопроизводительного оборудования, технологических и химических процессов в деревообработке, снижения производственных затрат, повышения конкурентоспособности продукции из древесины и древесных материалов.

Планируется проведение круглого стола «Проблемы подготовки кадров для лесного комплекса», на котором будут обсуждены насущные вопросы и проблемы уровневой подготовки инженерных кадров, особенности компетентностного подхода к реализации образовательных программ, о готовности работодателей к приёму выпускников бакалавриата и магистратуры, о значении практико-ориентированного подхода к реализации образовательных программ.

Параллельно с работой конференции пройдут заседания очередной сессии регионального координационного совета по современным проблемам лесоведения (РКСД).

Координационный совет по современным проблемам лесоведения создан в 1968 году при Институте леса и древесины им. В. Н. Сукачева в Красноярске (председатель Б.С. Чудинов). С 1990 года этот совет функционирует при Московском государственном университете леса под эгидой Международной академии наук о древесине (председатель Б.Н. Уголев) и представляет интересы 14 европейских стран в области наук о древесине: Беларуси, Болгарии, Венгрии, Германии, Греции, Грузии, Латвии, Польши, России, Румынии, Словакии, Украины, Швейцарии, Эстонии. Результаты исследований в области лесоведения регулярно рассматриваются на выездных годичных сессиях РКСД и на его конференциях.

РКСД как научно-информационный центр способствует улучшению древесиноведческой подготовки специалистов, с 2004 года он входит в структуру Учебно-методического объединения по образованию в области лесного дела. Совет использует возможности широкого обмена древесиноведческой информацией путём участия в организации семинаров, конференций и симпозиумов по смежной тематике на базе академических и отраслевых институтов и вузов.

Периодически на сессиях РКСД рассматривается и уточняется «Перечень перспективных направлений исследований в области древесиноведения и сопредельных дисциплин». При определении перспективных направлений учитываются плодотворность междисциплинарного подхода к исследованию древесины, с объединением усилий биологов, химиков, физиков, математиков и специалистов в области инженерных наук.

Начиная с 1997 года при РКСД функционирует Реестр экспертов высшей квалификации в области древесиноведения, лесного товароведения и сопредельных технологических дисциплин. Целями ведения Реестра являются повышение эффективности деятельности предприятий промышленности и торговли, а также отдельных потребителей за счёт использования услуг экспертов.

Годичные выездные сессии РКСД проводит в Москве, Санкт-Петербурге, Екатеринбурге, Воронеже, Брянске, Костроме и других городах России.

Заявки на участие в конференции и очередной сессии РКСД принимаются до 15 мая 2015 года. E-mail: konf.ldp2015@mail.ru.

Надеемся, что работа конференции и очередной сессии РКСД внесет определённый вклад в развитие науки о древесине. Желаем участникам плодотворной работы и новых контактов!

**III INTERNATIONAL CONFERENCE
«CURRENT PROBLEMS AND FUTURE DEVELOPMENT OF
FOREST-INDUSTRY COMPLEX»**

III International scientific and technical conference «Current Problems and Future Development of Forest-Industry Complex» is planned to take place under the aegis of Kostroma State Technological University on September, 21-24 2015.

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 Древоисноведение, 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 10 пт, прямой, светлый) без отступа. Название статьи печатается по центру (размер шрифта 14 пт, прямой, полужирный, прописной). Ниже, по центру – инициалы, фамилия автора (размер шрифта 12 пт, курсив, полужирный). После фамилий авторов указываются места работы: первая строка – название организации, вторая строка – почтовый адрес (размер шрифта 10 пт, прямой). После адресов указывается электронный адрес контактного автора.

Далее размещается аннотация (выравнивание по ширине, размер шрифта 10 пт, курсив, отступ слева и справа 1 см). Аналогично оформляются ключевые слова. Ключевые слова статьи предоставляются на **русском и английском языках**.

Также необходимо предоставить **авторское резюме** статьи на русском и английском языках (**не менее 250–300 слов**), отражающее существо работы, понятное без обращения к самой публикации; оно является основным источником информации в отечественных и зарубежных информационных системах и базах данных, индексирующих журнал.

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) 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), ученая степень, должность, место работы с указанием почтового адреса учреждения (на русском и английском языках), область научных интересов, количество опубликованных работ, телефон, e-mail.

К статье прилагаются следующие **документы**: авторское заявление с указанием рубрики журнала; 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>