

УДК 55:57:58:59:61:91
ISSN 2500-2961

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ

3.2017

**Природа и человек:
экологические исследования**

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Московский
педагогический
государственный
университет

Издается с 2011 г.

ПИ № ФС 77–67765
от 17.11.2016 г.

Выходит 4 раза в год

Адрес редакции:
109240, Москва,
ул. В. Радищевская,
д. 16–18, каб. 223

Сайт: www.soc-ecol.ru
E-mail: izdat_mgopu@mail.ru

ISSN 2500-2961

SOCIAL'NO-ECOLOGICHESKIE
TECHNOLOGII

3.2017

**Environment and human:
ecological studies**

THE FOUNDER:
Moscow State
University
of Education

The journal has been published
since 2011

Mass media
registration
certificate
ПИ № ФС 77-67765
as of 17.11.2016г.

The journal is published 4 times a year

Editorial office:
Moscow, Russia,
Verhnyaya
Radishchevskaya str.,
16-18, room 223,
109240

E-mail: izdat_mgopu@mail.ru
Information on journal can be
accessed via: www.soc-ecol.ru

Редакционная коллегия

Главный редактор

Марина Викторовна Костина – доктор биологических наук, доцент; профессор кафедры ботаники Института биологии и химии, Московский педагогический государственный университет

Заместитель главного редактора

Зинаида Ивановна Гордеева – кандидат географических наук, профессор; профессор кафедры экологии и природопользования географического факультета, Московский педагогический государственный университет

Ответственный секретарь

Екатерина Олеговна Королькова – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры ботаники Института биологии и химии, Московский педагогический государственный университет

Сурхай Рахим оглы Аллахвердиев – доктор биологических наук, профессор; профессор кафедры лесной индустрии лесного факультета, Бартынский государственный университет, Турция

Ирина Вениаминовна Беляева-Чемберлен – PhD (биология); редактор содержания (номенклатура и таксономия) баз данных растений и грибов отдела «Биоразнообразие, биоинформатика и анализ распространения растений», Королевские ботанические сады, Кью, Великобритания

Владимир Владимирович Бобров – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории сохранения биоразнообразия и использования биоресурсов, Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва

Василий Николаевич Бурдь – доктор химических наук; профессор кафедры химии и химической технологии факультета биологии и экологии, Гродненский государственный университет им. Я. Купалы, Республика Беларусь

Владимир Павлович Викторov – доктор биологических наук, доцент; заведующий кафедрой ботаники Института биологии и химии, Московский педагогический государственный университет

Юлия Константиновна Виноградова – доктор биологических наук; главный научный сотрудник отдела флоры, Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, г. Москва

Ольга Владимировна Галанина – кандидат биологических наук; доцент кафедры биогеографии и охраны природы Института наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет

Владимир Борисович Дорохов – доктор биологических наук; заведующий лабораторией нейробиологии сна и бодрствования, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, г. Москва

Александр Сергеевич Зернов – доктор биологических наук; профессор кафедры высших растений биологического факультета, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Василий Иванович Ерошенко – кандидат педагогических наук, доцент; заведующий кафедрой экологии и природопользования географического факультета, Московский педагогический государственный университет

Сергей Вячеславович Левыкин – доктор географических наук, профессор; заведующий лабораторией агроэкологии и землеустройства, Институт степи Уральского отделения РАН, г. Оренбург

Татьяна Михайловна Лысенко – доктор биологических наук, доцент; старший научный сотрудник лаборатории проблем фиторазнообразия, Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти Самарской области

Ирина Владимировна Лянгузова – доктор биологических наук, старший научный сотрудник; ведущий научный сотрудник лаборатории экологии растительных сообществ, Ботанический институт им. ВЛ. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург

Наталья Олеговна Минькова – кандидат биологических наук, доцент; заместитель проректора по учебной работе, Севастопольский государственный университет

Сергей Владимирович Наугольных – доктор геолого-минералогических наук, профессор; главный научный сотрудник лаборатории палеофлористики, Геологический институт РАН, г. Москва

Светлана Камильевна Пятунина – кандидат биологических наук, доцент; директор Института биологии и химии, Московский педагогический государственный университет

Олег Викторович Созинов – кандидат биологических наук, доцент; заведующий кафедрой ботаники, Гродненский государственный университет им. Я. Купалы, Республика Беларусь

Владимир Семёнович Фридман – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории экологии, биологических инвазий и охраны природы кафедры высших растений биологического факультета, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Алексей Владимирович Чернов – доктор географических наук, профессор; член Президиума Московского центра Русского географического общества; ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Андрей Викторович Щербаков – доктор биологических наук; ведущий научный сотрудник лаборатории экологии, биологических инвазий и охраны природы кафедры высших растений биологического факультета, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Михаил Сергеевич Яблоков – кандидат биологических наук; директор, Объединенная дирекция «Заповедное Прибайкалье», Иркутская область

Владимир Иванович Яшкичев – доктор химических наук, профессор; профессор кафедры экологии и природопользования географического факультета, Московский педагогический государственный университет

Editorial Board

Editor-in-Chief

Marina V. Kostina – Professor of Department of Botany of Institute of Biology and Chemistry, Moscow State University of Education, Moscow, Russia

Deputy Chief Editor

Zinaida I. Gordeeva – Professor of Department of Ecology and Environmental Sciences of Faculty of Geography, Moscow State University of Education, Moscow, Russia

Executive secretary

Ekaterina O. Korolkova – Associate Professor of Department of Botany of Institute of Biology and Chemistry, Moscow State University of Education, Moscow, Russia

Surhai R. Allahverdiev – Professor of Forestry Department, Bartin University, Bartin, Turkey

Irina V. Belyaeva-Chamberlain – Content Editor – Plant & Fungal Names, Biodiversity Informatics & Spatial Analysis, Royal Botanic Gardens, Kew, United Kingdom

Vladimir V. Bobrov – Senior Researcher of Laboratory of Biodiversity Conservation and Use of Biological Resources, A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Vasilii N. Burd – Professor of Department of Chemistry and Chemical Technology of Faculty of Biology and Ecology, Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno, Republic of Belarus

Aleksei V. Chernov – Leading Researcher of N.I. Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and Channel Processes of Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia


Vladimir B. Dorohov – Head of Laboratory of Neurobiology of Sleep and Wakefulness, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Vasilii I. Eroshenko – Head of Department of Ecology and Environmental Sciences of Faculty of Geography, Moscow State University of Education, Moscow, Russia


Vladimir S. Friedman – Senior Researcher of Laboratory of Ecology, Biological Invasions and Conservation of Department of Higher Plants of Biological Faculty, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Olga V. Galanina – Associate Professor of Department of Biogeography and Environmental Protection of Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

Sergey V. Levykin – Head of Agroecology and Land Management Laboratory, Institute of Steppe, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia



Irina V. Lyanguzova – Leading Researcher of Laboratory of Ecology of Plant Communities, Komarov Institute of Botany, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia



Tatyana M. Lysenko – Senior Researcher of Laboratory of Phytodiversity Problems, Institute of Ecology of the Volga River Basin, Russian Academy of Science, Togliatti, Samara region, Russia

Natalia O. Minkova – Deputy Vice-Rector for Academic Affairs, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia



Serge V. Naugolnykh – Chief Scientific Officer of Laboratory of Paleofloristics, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Svetlana K. Piatunina – Director of Institute of Biology and Chemistry, Moscow State University of Education, Moscow, Russia

Andrei V. Scherbakov – Leading Researcher of Laboratory of Ecology, Biological Invasions and Nature Protection of Higher Plants of Biological Faculty, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Oleg V. Sozinov – Head of Department of Botany, Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno, Republic of Belarus

Yulia K. Vinogradova – Chief Researcher of Flora Department, Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Vladimir P. Viktorov – Head of Department of Botany of Institute of Biology and Chemistry, Moscow State University of Education, Moscow, Russia

Mikhail S. Yablokov – Director, Joint Directorate of Western Baikal Protected Areas, Irkutsk Region, Russia

Vladimir I. Yashkichev – Professor of Department of Ecology and Environmental Sciences of Faculty of Geography, Moscow State University of Education, Moscow, Russia

Aleksandr S. Zernov – Professor of Department of Higher Plants of Biological Faculty, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ (03.00.00)

НАУКИ О ЗЕМЛЕ (25.00.00)

ИЗУЧЕНИЕ И СОХРАНЕНИЕ
БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ

С.В. Левыкин, Г.В.Казачков
Оренбургская Тарпания как основной элемент
социально-экологической реабилитации степей 9

ОПЫТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ

С.А. Аветян, Л.А. Балашова
Лесные насаждения Национального парка «Угра»
в условиях неоднородности почвенной среды
и изменения климата 24

Н.В. Терехина, О.М. Семёнов, Г.А. Фирсов
Экологическое состояние почв и основных древесных пород
в Ботаническом саду Ботанического института
им. В.Л. Комарова РАН 33

ИССЛЕДОВАНИЯ АНТРОПОГЕННО-ИЗМЕНЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ
И УРБЭКОЛОГИЯ

М.В. Костина, О.И. Ясинская, Н.С. Барабанищикова
Разработка научно-обоснованного подхода использования
клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) в озеленении Москвы. 51

Е.А. Шишконова
Антропогенная растительность территорий предприятий
ОАО «Уралкалий» (Пермская область) 65

АНТРОПОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

А.Н. Пучкова, О.Н. Ткаченко, В.Б. Дорохов
Специфика динамики размера зрачка в процессе работы
с арифметическими задачами. 80

STUDY AND CONSERVATION OF BIOLOGICAL DIVERSITY

- S.V. Levykin, G.V. Kazachkov*
Orenburgskaya Tarpania as the key element
of steppe social and ecological rehabilitation. 9

EXPERIENCE ENVIRONMENTAL STUDY AREAS

- S.A. Avetyan, L.A. Balashova*
Forest of National Park “Ugra” under conditions
of soil heterogeneity and climate change 24
- N.V. Terekhina, O.M. Semenov, G.A. Firsov*
Ecological condition of soils and basic tree species
in the Botanical Garden of the Komarov Botanical Institute RAS. 33

ANTHROPOGENICALLY MODIFIED ECOSYSTEMS
AND URBAN ECOLOGY

- M.V. Kostina, O.I. Yasinskaya, N.S. Barabanshchikova*
Development of scientifically based approach to using box elder
(*Acer negundo* L.) as an ornamental tree in Moscow 51
- E.A. Shishkonakova*
Anthropogenic vegetation in the area of the enterprise “Uralkaliy”
(Perm region, Russia) 65

ANTHROPOECOLOGICAL RESEARCH

- A.N. Puchkova, O.N. Tkachenko, V.B. Dorohov*
Specifics of pupil size dynamics in the process of working
with arithmetic tasks 80

С.В. Левыкин, Г.В. Казачков

Институт степи Уральского отделения РАН,
460000 г. Оренбург, Российская Федерация

Оренбургская Тарпания как основной элемент социально-экологической реабилитации степей¹

В статье освещена суть проекта «Оренбургская Тарпания», его истоки, предпосылки, принципы, история и разделение на два современных вектора развития. Указывается, что успешный выпуск лошади Пржевальского на пятом участке ГПЗ «Оренбургский» «Предуральская степь» является лишь одним из направлений развития проекта «Оренбургская Тарпания». Этот проект имеет свою историю и задумывался как принципиально более многогранный комплексный проект по социально-экологической реабилитации степей. Показана роль Института степи УрО РАН, Русского географического общества и общественных природоохранных организаций на каждом этапе реализации проекта. Рассмотрены перспективы дальнейшего развития проекта в новых условиях.

Ключевые слова: Предуральская степь, Оренбургская Тарпания, лошадь Пржевальского, Институт степи УрО РАН, Русское географическое общество, государственный природный заповедник «Оренбургский», Центр разведения диких степных животных.

¹ Работа выполнена по теме НИР Института степи УрО РАН: «Степи России: ландшафтно-экологические основы устойчивого развития, обоснование природоподобных технологий в условиях природных и антропогенных изменений окружающей среды», № ГР АААА-А17-117012610022-5.

S.V. Levykin, G.V. KazachkovInstitute of Steppe, Ural Branch of Russian Academy of Sciences,
Orenburg, 460000, Russian Federation

Orenburgskaya Tarpania as the key element of steppe social and ecological rehabilitation²

The successful release of Przewalski horse into the “Preduralskaya step”, the fifth site of the governmental nature reserve “Orenburgskiy”, is shown as one of directions of the Orenburgskaya Tarpania project development. This project has its own history and was planned as a much more versatile project of social and ecological rehabilitation of steppe. The role played in each stage of the project by the Institute of Steppe of the Ural Branch of RAS, the Russian Geographical Society, and public organizations is shown. Prospects of the project under new current conditions are examined.

Key words: Preduralskaya step, Orenburgskaya Tarpania, Przewalski horse, Institute of Steppe of the Ural Branch of RAS, Russian Geographical Society, governmental nature reserve “Orenburgskiy”, Center for wild steppe animals raising.

Введение

3 октября 2016 г. Президент РФ В.В. Путин торжественно выпустил группу лошадей Пржевальского из акклиматизационного загона на простор Предуральской степи – пятого участка государственного природного заповедника «Оренбургский». Такое внимание первого лица государства – важный вклад в сохранение и восстановление степей и повышение престижа России в международном природоохранном движении. Это же событие стало и эффектной кульминацией совместного проекта Программы развития ООН, Министерства природных ресурсов и экологии РФ и Глобального экологического фонда «Совершенствование системы и механизмов управления ООПТ в степном биоме

² The work was carried out on the topic of R&D of the Steppe Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences: “Steppes of Russia: landscape-ecological foundations of sustainable development, the justification of nature-friendly technologies in conditions of natural and anthropogenic environmental changes”, #GR AAAA-A17-117012610022-5.

России» (2010–2016, далее – степной проект). Такое событие не осталось без внимания СМИ, однако акцент был сделан только на одной его стороне – на обретении лошадей Пржевальского нового дома в России. В то же время за рамками информационного поля осталась не только предыстория, но и гораздо более глубокая и многогранная суть этого события. Успешному выпуску лошадей Пржевальского предшествовала огромная подготовительная работа и целый ряд событий, восходящих к проекту «Оренбургская Тарпания», необходимость которого была обоснована в проекте организации первого в России настоящего степного заповедника в 1989 г. [Чибилёв, 1992].

Социально-экологическая суть проекта «Оренбургская Тарпания»

Проект «Тарпания» был изначально ориентирован на возвращение в степь, обделенную природоохранным и общественным вниманием, ее коренных обитателей, главным образом степных копытных. Суть его концепции – через возвращение в степь копытных животных воссоздание завершенной экологически полноценной устойчивой экосистемы, мечты современных ученых, несомненно, более продуктивной, интересной и востребованной для современного общества. Именно так: не столько обитель для вида, сколько вид для обители – степи, или, во всяком случае, это равноценно. Так решили степеведы и зоологи еще в 2001 г., когда первые предложили обитель в виде Орловской степи – расформированного объекта Министерства обороны площадью 16,5 тыс. га – безусловно, один из самых компактных и ценных в ландшафтном отношении степных участков России, а вторые доказали, что лошадь Пржевальского должна стать первым видом для реинтродукции, хотя были и другие варианты, такие как конек польский, якутская лошадь, равнинный бизон и т.д. [Чибилёв, 2005; Программа..., 2005].

Таким образом, суть проекта «Оренбургская Тарпания» – это не столько участие в судьбе редкого вида, не столько его новое местообитание, хотя, вероятно, одно из самых надежных и уникальных в мире, сколько обоснованная попытка позитивного решения судьбы степей путем возвращений ее исконных обитателей, исчезнувших по вине человека. То есть изначально все затевалось во имя степи, а не ради одного ее вида, пусть даже самого популярного объекта международной охраны природы: проект был степным, а не лошадиным. Не исключаем, что имеющее место одностороннее «лошадиное» освещение крупного достижения проекта понятнее для международных природоохранных структур, различных организаций и фондов, чем решение, к сожалению,

пока малопонятных мировому сообществу комплексных экологических проблем России и Северной Евразии. Изначально, да простит нас международное природоохранное сообщество, лошадь Пржевальского рассматривалась не как самоцель, а как инструмент восстановления степей и принципиального повышения общественного внимания к их печальной судьбе. «Тарпаниа» – это, по сути, реакция ученых на бедственное положение степей и попытка изменить его в новых социально-экономических и политических условиях, дающих шанс на перемену к лучшему [Левыкин, 1997].

Истоки, предпосылки и принципы

Проект реинтродукции лошади Пржевальского в Оренбургскую область имеет уже более чем 20-летнюю историю. Поэтому считается необходимым добавить к широко известной эффектной, безусловно, важной и полезной кульминации краткую историческую справку, которая, возможно, в свете столь впечатляющего события осталась за рамками должного внимания. Сегодня, в период кардинальной реформы РАН, когда возникает много вопросов по поводу ее эффективности, необходимости, а главное – перспективности, история проекта весьма актуальна.

Непосредственно идея «Оренбургской Тарпаниа» вызвана ностальгией по утраченным степям и стадам копытных и верой в то, что новые социально-экономические условия позволят не только изменить ситуацию к лучшему, но и восстановить широкий интерес общественности к степям. Соответственно, требовалось решить три задачи: подобрать копытных, подобрать крупный компактный степной участок (при полной распаеванности степных земель это было нелегко), найти финансы или спонсора, лично заинтересованного в решении поставленной задачи. Решение первой задачи была самой легкой, т.к. в мире был уже накоплен позитивный опыт содержания и достаточное поголовье лошади Пржевальского, польского конека, бизона и т.д. Вторая и третья задачи нашли свое решение в ходе реализации проекта.

Идея, заключающаяся в полувольном разведении диких степных копытных, окончательно оформилась в стенах Института степи УрО РАН в середине 1990-х гг. как российский аналог Аскании-Нова, оставшейся на Украине. Эта идея изначально носила конвергентный характер и предполагала развитие природоподобных технологий, внедряемых совместными действиями ученых, государства, бизнеса и широкой общественности. Такая конвергенция стала осуществима в эпоху идеологических перемен, когда появилась возможность скорректировать

парадигму степного аграрного и природоохранного землепользования в направлении экологической реставрации части степных экосистем для их существования и развития в новых рыночных условиях. При этом роль академической науки представлялась в виде некоего консалтингового и консолидирующего звена.

Итак, предпосылками проекта «Оренбургская Тарпания» были:

- ностальгия по утраченным степям и степным копытным;
- нахождение Аскании-Нова за границей РФ;
- смена общественно-политической формации, давшая надежду на корректировку базовых парадигм землепользования и охраны природы;
- наличие «экологического аналога» в виде «бизоньего бума» в Северной Америке;
- успешный старт разработанных в СССР международных проектов по возвращению лошади Пржевальского в монгольские степи;
- подтверждение государственной важности степной науки учреждением Института степи в 1996 г.;
- достижения степеведения по поиску выхода из кризиса ландшафтно-биологического разнообразия степей Евразии;
- расформирование территорий Министерства обороны РФ с наиболее ценными степными участками;
- появление интереса к судьбе степей среди отдельных предпринимателей Оренбуржья.

Принципы подбора животных:

- приоритет копытных, достоверно обитавших в степях Евразии в голоцене;
- смещение акцента с экзотики на создание живых коллекций домашних пород адаптивного степного скота и выживших потомков мамонтовой мегафауны позднего плейстоцена;
- экономическая перспективность разводимых копытных (туризм, элитная мясная продукция, спортивная охота).

История

В таком новационном для России виде проект стал одним из ключевых элементов стратегии социально-экологической реабилитации степей. Для реализации этой стратегии в 1997 г. была создана общественная организация фонд «Возрождение Оренбургских степей», основной деятельностью которой стала реализация проекта «Оренбургская Тарпания». В то же время был подобран и изучен расформированный участок Министерства обороны «Орловская степь» в оренбургском Предуралье площадью 16,5 тыс. га. Это компактный нефрагментированный

и, главное, наиболее удобный для природоохранной деятельности юридически целостный (нераспаеванный) земельный участок. Тогда этот участок представлялся как идеальное место в степной зоне для практической реализации комплексной концепции социально-экологической реабилитации степей путем организации российского аналога Аскании-Нова – «Оренбургской Тарпани», название которого отражает не место, а идею разведения степных копытных для реабилитации степи.

Активная фаза проекта наступила в 2001 г., когда была создана инициативная рабочая группа из оренбургских и московских ученых, которая, признав первоочередным видом разведения лошадь Пржевальского, а наиболее подходящим местом – «Орловскую степь», начала активное продвижение проекта, обращаясь за поддержкой к государственным инстанциям, природоохранным организациям и к бизнес-сообществу. Надо отметить, что особой государственной поддержки этот проект не получил ни на федеральном, ни на региональном уровне, что сместило акцент деятельности инициативной группы на поиск частных спонсоров. С 2003 г. фонд «Возрождение Оренбургских степей» с приходом в него С.Н. Бурова в качестве мецената, неравнодушного к судьбе природы степей, начал активную деятельность по продвижению проекта. С одной стороны, своими публикациями и выступлениями в СМИ фонд способствовал формированию позитивного общественного мнения по восстановлению степей и реинтродукции лошади Пржевальского как основного локомотива проекта [Буров и др., 2005; Левыкин, 2005а, 2005в]. Фондом «Возрождение Оренбургских степей» было выпущено четыре номера газеты «Оренбургская Тарпани» [Оренбургская Тарпани, 2006]. С другой стороны, проводилась большая подготовительная и организационная работа по оформлению в аренду участка «Орловская степь». Фактически, это стало временем формирования бренда «Тарпани», который сложился к 2006 г. и не утратил актуальности по сей день.

В Институте степи были разработаны и обоснованы новационные формы степных ООПТ, расширяющие и дополняющие спектр существующих государственных с учетом специфических задач по восстановлению полночленных степных экосистем. Непосредственно для реинтродукции лошади Пржевальского в «Орловскую степь» был предложен «степной парк-биостанция» [Чибилёв, 2002; Чибилёв, Левыкин, 2005]. Одновременно непосредственно с участием инициативной группы была разработана принятая в 2005 г. программа Министерства природных ресурсов и экологии РФ по восстановлению лошади Пржевальского в Оренбургской области [Программа..., 2005].

В 2006 г. свершилось весьма значимое в природоохранной деятельности России, но мало освещенное СМИ событие: впервые общественной организацией была осуществлена аренда крупного степного участка для природоохранных целей. Согласно ст. 34 Земельного Кодекса РФ Территориальное управление Федерального агентства по управлению федеральным имуществом по Оренбургской области сочло целесообразным предоставить фонду «Возрождение Оренбургских степей» в аренду территорию «Орловской степи» (16,5 тыс. га) под размещение природного парка по сохранению и восстановлению оренбургских степей, в т.ч. реинтродукции лошади Пржевальского и акклиматизации диких степных копытных [Публикация конкурсных условий..., 2006].

С 2007 г. фонд «Возрождение Оренбургских степей» проводил активную деятельность по привлечению дополнительных средств к осуществлению проекта. Заинтересовать отечественный крупный и средний бизнес не удалось, т.к. проект, продвигаемый одним меценатом, воспринимался другими как нечто частное или личное, и никто не хотел обезличивания своих средств. Привлечь широкий общественный интерес тоже не удалось. Возможно, неудача в массовом привлечении спонсоров связана с совпадением по времени с кризисными явлениями 2008–2009 гг.

Принципиально больших успехов удалось достичь в привлечении международных доноров – Глобального экологического фонда. Деятельность фонда «Возрождение Оренбургских степей» по реализации проекта «Оренбургская Тарпания» способствовала тому, что с 2010 г. Оренбургская область стала одним из четырех в России пилотных регионов степного проекта Программы развития ООН, Министерства природных ресурсов и экологии РФ и Глобального экологического фонда. Реализация «Оренбургской Тарпании» по изначально разработанному сценарию была в приоритете первого этапа степного проекта; «Орловская степь» планировалась к развитию как «особо управляемая степная территория» – новационная форма ООПТ, предназначенная для реинтродукции лошади Пржевальского и учитывающая природоохранную специфику степей [Смелянский, 2010; Чибилёв и др., 2012].

С 2011 г. активизировалась деятельность Природоохранительной комиссии Русского географического общества, в т.ч. по содействию реализации проекта «Оренбургская Тарпания». Безусловно, позитивную, а возможно, и принципиальную роль в продвижении «Тарпании» сыграли два специализированных гранта Русского географического общества, благодаря которым Институту степи УрО РАН удалось организовать и успешно провести масштабную экспедицию в Западную Монголию – места последнего на Земле обитания лошади Пржевальского

в естественной среде. Основными результатами экспедиции стало установление партнерских отношений с французскими коллегами, реализующими на юго-западе Монголии проект по возвращению лошади Пржевальского, которые впоследствии безвозмездно предоставили группу лошадей Пржевальского для их реинтродукции в Предуральскую степь. Другим результатом был сбор большого фактического материала по охраняемым природным территориям Монголии, где обитает лошадь Пржевальского. В дальнейшем лучшие фотоснимки составили уникальную, посвященную дикой лошади и Оренбургской степи фотовыставку, которая экспонировалась на наиболее известных научных и культурных площадках Москвы, Санкт-Петербурга, Оренбурга и других городов России.

Таким образом, дикая лошадь, носящая имя открывшего ее выдающегося русского путешественника, благодаря активной деятельности Природоохранительной комиссии Русского географического общества, стала полноправным природоохранным и географическим брендом как Русского географического общества, так и России в целом. Реинтродукция лошади Пржевальского в «Орловской степи» была поддержана лично председателем попечительского совета Русского географического общества Президентом РФ В.В. Путиным [В. Путин хочет возродить лошадь Пржевальского]. Принципиальным в дальнейшей судьбе проекта стало усиление с 2012 г. внимания и интереса к реинтродукции лошади, поддержанной Президентом и Русским географическим обществом. Нельзя обойти вниманием также ряд встреч международных экспертов по разведению диких степных копытных с представителями исполнительной власти Оренбургской области на предмет развития и поддержки «Оренбургской Тарпани», организованных в Оренбурге в рамках VI Международного симпозиума Степи Северной Евразии в 2012 г. Все эти действия в конечном итоге способствовали активизации деятельности попечительского совета Оренбургского регионального отделения Русского географического общества, возглавляемого губернатором Оренбургской области Ю.А. Бергом, который много сделал для продвижения проекта и создания инфраструктуры.

Наиболее вероятно, что именно становление нового географического и природоохранного бренда и личная поддержка главы государства повлияла на принципиальное усиление интереса Министерства природных ресурсов и экологии к проекту. Так как оно являлось и непосредственным куратором степного проекта Программы развития ООН, Министерства природных ресурсов и экологии РФ и Глобального экологического фонда, приоритеты реализации «Оренбургской

Тарпани» были смещены с поддержки особо управляемой степной территории на создание на ее территории пятого участка ГПЗ «Оренбургский», специализированного на реинтродукции лошади Пржевальского. Федеральные и оренбургские региональные природоохранные структуры полностью поддержали такую переориентацию как самого участка, так и основных средств, выделяемых степным проектом. Арендные отношения с фондом «Возрождение Оренбургских степей» были полностью прекращены, Росимущество тоже поддержало идею заповедника. Между Министерством природных ресурсов и экологии РФ, Правительством Оренбургской области и Институтом степи УрО РАН было достигнуто соглашение о совместной координации действий по реинтродукции лошади Пржевальского на создаваемом на тот момент пятом участке ГПЗ «Оренбургский», который рассматривался в качестве научного полигона Института степи [Чибилёв, 2014]. По неизвестным нам причинам данное соглашение пока не реализуется.

Благодаря поддержке проекта «Оренбургская Тарпания» Русским географическим обществом и губернатором Оренбургской области Ю.А. Бергом общественная природоохранная инициатива по разведению степных копытных продолжила осуществляться в новых условиях. В 2013 г. для реализации проекта был создан новый областной общественный фонд «Возрождение оренбургской фауны» с поддержкой со стороны попечительского совета регионального отделения Русского географического общества во главе с губернатором Ю.А. Бергом и базовым меценатом А.И. Зеленцовым, известным далеко за пределами Оренбуржья своей активной гражданской позицией и поддержкой социально значимых культурных и природоохранных проектов.

Два вектора развития

Центр разведения диких степных животных – научный стационар Института степи

С момента создания фонда «Возрождение оренбургской фауны» идеи «Оренбургской Тарпани» осуществляются в двух направлениях. Одно из них – это созданный Институтом степи на средства фонда Центр разведения диких степных животных, который с 2016 г. является структурным подразделением академического института как степной стационар. Территория стационара площадью 31 га расположена вдоль ручья от границы пятого участка ГПЗ «Оренбургский» до пруда пос. Сазан и представляет собой вытянутый огороженный прямоугольник, разбитый на загоны.

Деятельность Центра уже вошла в историю как место первого в области завоза степных копытных: лошади Пржевальского и пары киангов из Московского зоопарка в мае 2014 г. Затем была завезена семья из трех верблюдов из Казахстана, пара лошадей Пржевальского из Орловской области и четыре яка из Ростовской области. Сегодня в центре разводятся копытные четырех видов, представляющие два фаунистических комплекса: центральноазиатский (лошадь Пржевальского, верблюд) и тибетский (кианг, як). В Центре успешно получен приплод: две лошади Пржевальского и по одному киангу, верблюду и яку, общая численность животных увеличилась. Планируются и ведутся работы по расширению Центра в качестве научного стационара Института степи на 190 га, арендуемых у администрации Беляевского района.

Пятый участок ГПЗ «Оренбургский»

Это развитие традиционного природоохранного подхода в виде организации нового специализированного участка существующего заповедника с привлечением средств степного проекта Программы развития ООН, Министерства природных ресурсов и экологии РФ и Глобального экологического фонда на создание инфраструктуры. В 2013 г. Институтом степи УрО РАН был разработан проект такого участка [Новая степная особо охраняемая природная территория..., 2014], и в рекордно короткие сроки, уже в 2014 г., участок был полностью оформлен, а в 2015 г. успешно осуществлен завоз первой партии лошадей Пржевальского из Франции в акклиматизационные загоны. Именно оттуда Президент РФ В.В. Путин и выпустил лошадей Пржевальского в «Орловскую степь», к этому времени уже переименованную в «Предуральскую степь» [Чибилёв, 2014].

Эйфория или отстранение?

Здесь мы бы хотели обсудить, каким образом можно расценить такое событие, как раздвоение практической реализации проекта с переходом основного участка и основных финансовых потоков от общественной природоохранной организации к государственному природному заповеднику? Да, можно быть полностью удовлетворенными от того, что несмотря ни на какие изменения и метаморфозы, идея все-таки достигла своей цели: лошадь Пржевальского находится в степях оренбургского Предуралья. Более того, вместо одного проекта получилось фактически два, именно на позитивную сторону этой двойственности мы и хотим обратить самое пристальное внимание. Участие общественных фондов «Возрождение Оренбургских степей» и «Возрождение оренбургской

фауны», Русского географического общества, степного проекта Программы развития ООН, Министерства природных ресурсов и экологии РФ и Глобального экологического фонда в какой-то мере стимулировало деятельность друг друга и подталкивало общий ход событий в позитивном направлении. В определенный момент уникальный степной участок «Орловская степь» после прекращения аренды фондом «Возрождение Оренбургских степей» был полностью переведен под управление Минприроды, и основные средства степного проекта Программы развития ООН, Министерства природных ресурсов и экологии РФ и Глобального экологического фонда были направлены именно сюда. В то же время непосредственно у границы пятого участка ГПЗ «Оренбургский» именно фонду «Возрождение оренбургской фауны» удалось в кратчайшие сроки создать инфраструктуру и первым осуществить выпуск копытных. Безусловно, следующий шаг должен был быть за Минприроды и степным проектом, каковой и последовал.

К сказанному нельзя не добавить и того, что пока международным сообществом по достоинству и в полной мере не оценен проект реинтродукции лошади Пржевальского на бывшем объекте Министерства обороны РФ, ныне пятом участке ГПЗ «Оренбургский». Средства степного проекта были потрачены на создание инфраструктуры и непосредственно завоз лошадей и тем самым вложены в развитие Оренбургской области, а не растрочены на бумажные отчеты с чередой рекомендаций, концепций и т.д. Государство, к его чести, в непростых международных условиях не только быстро перевело территорию бывшего объекта Министерства обороны в природоохранные земли (а ведь могло и «подстраховаться»), оставив за военными территориальный резерв на всякий случай), но и нашло возможность вложиться в дорогостоящий природоохранный проект, который, по нашему мнению, является лучшим из всех подобных. Итак, нельзя отрицать, что именно форма ГПЗ гарантирует наиболее эффективную, хотя и фискальную, охрану природы и государственное финансирование, но при этом все-таки несколько размывается сама традиционная идея заповедника как неприкосновенной территории. Реинтродукция лошади и, тем более, развитие туризма неосуществимы без инфраструктуры, нарушающей «дикость» строго охраняемой природы.

В целом, мы позитивно оцениваем существующий ход событий, однако осталось чувство некой неудовлетворенности. По мере развития и рекламы пятого участка ГПЗ «Оренбургский» все больше и больше забывается принципиальная основополагающая роль проекта «Оренбургская Тарпанья», благодаря которому в конечном итоге в рекордно

короткие сроки был создан пятый участок ГПЗ «Оренбургский» и осуществлен завоз лошадей Пржевальского. У нас пока не в полной мере развит институт защиты авторских прав и оригинальных идей, более того, идея «Тарпаний» не патентовалась, а публиковалась в научных трудах и СМИ. Роль Академии наук – генерировать оригинальные идеи, в том числе природоохранные, и фактически дарить их обществу. Поэтому мы не только не возражаем, но даже приветствуем успешную реализацию наших идей Министерством природных ресурсов и экологии, но настаиваем на признании авторства, тем более в условиях новых, принципиально повышенных требований к сотрудникам системы РАН. В этой связи, по нашему мнению, идеальным сценарием развития идеи «Тарпаний» было бы продолжать поддержку особо управляемой степной территории за счет степного проекта, а возможно, также Русско-го географического общества и Минприроды до завершения создания инфраструктуры, завоза и реакклиматизации первой партии лошади Пржевальского, а впоследствии торжественно передать уже созданный комплекс от общественной организации «Возрождение Оренбургских степей» в ведение Министерства природных ресурсов и экологии РФ в присутствии первых лиц государства и ученых – авторов проекта.

Сейчас, в период проведения реформы РАН, переоценки значимости и реструктуризации ее институтов, особенно важно помнить и признавать значение фундаментальной науки в инициировании и реализации новационных проектов, имеющих важное международное значение, среди которых, безусловно, занимает свое место системный проект «Оренбургская Тарпания», продолжающий развиваться как на территории заповедника, так и в стенах Института степи в порядке становления и развития Центра разведения диких степных животных уже как научного стационара.

Перспективы развития

Становление и начальная, наиболее важная фаза развития Центра разведения диких степных животных совпало с реформой РАН. В этих условиях ставится задача не только сохранить, но и внятно обосновать фундаментально-научное и социально-экономическое значение Центра, созданного за счет мецената. Сегодня актуальной становится разработка фундаментальных и прикладных направлений развития Центра разведения диких степных животных в условиях реформирования РАН. Прежде всего, это касается разработки и развития природоподобных технологий степного землепользования, направленных на рациональное переосвоение малопродуктивных и маловостребованных сельхозугодий, прежде

всего под адаптивное пастбищное животноводство, в т.ч. с разведением новых для степных регионов России копытных [Обустройство степных агроландшафтов..., 2017]. Фактически это является логическим продолжением концепции социально-экологической реабилитации степей «Оренбургская Тарпания» на ее новом этапе, который условно можно назвать «Тарпания-2».

С привлечением ведущих российских и международных экспертов будут разработаны критерии выбора первоочередных объектов разведения, отвечающие поставленным целям и задачам, соответственно которым будет составлен список видов и пород. Одновременно планируется расширение стационара на 190 га и сооружение новых загонов, а также создание степного фитопарка с выращиванием титульных видов степных растений. В перспективе планируется завоз, акклиматизация и выращивание наиболее перспективных видов степных копытных для последующего обогащения ими маловостребованных сельхозугодий на вольном и полувольном содержании, а также для вольерного содержания в парках и охотничьих хозяйствах. Такой подход полностью согласуется с государственными задачами по конвергенции фундаментальных наук, науки и практики, а также развитию природоподобных технологий для устойчивого развития степных регионов России и Евразии в целом. Инициатива по обогащению степных ландшафтов Оренбуржья дикими копытными может быть представлена в рамках Оренбургской экологической инициативы.

Библиографический список / References

1. Буров С.Н., Левыкин С.В., Спасская Н.Н. Оренбургская Тарпания: инновационный проект по сохранению и реабилитации степей. Оренбург, 2005. [Burov S.N., Levykin S.V., Spasskaya N.N. Orenburgskaya Tarpaniya: innovatsionnyi projekt po sokhraneniyu i reabilitatsii stepei [Orenburgskaya Tarpania, the innovation project on steppe conservation and rehabilitation]. Оренбург, 2005.]
2. В. Путин хочет возродить лошадь Пржевальского. URL: <http://top.rbc.ru/society/21/03/2011/562857.shtml> (дата обращения: 22.03.2011). [V. Putin khochet vozrodit' loshad' Przheval'skogo [V. Putin would revive Przewalski horse]. URL: <http://top.rbc.ru/society/21/03/2011/562857.shtml>]
3. Левыкин С.В. Аграрно-природоохранный компромисс в степях России. Оренбург, 2005. [Levykin S.V. Agrarno-prirodookhranniy kompromiss v stepyakh Rossii [The agrarian-conservational compromise in Russian steppes]. Оренбург, 2005.]
4. Левыкин С.В. О концепции восстановления биоразнообразия Оренбургских степей и развития экологически устойчивого сельского хозяйства // Степи Евразии: сохранение природного разнообразия и мониторинг состояния экосистем: Материалы международного симпозиума, 19–23 мая 1997 г. Оренбург, 1997. С. 24–25. [Levykin S.V. On the concept of Orenburg steppes biodiversity

restoration and environmentally sustainable agriculture development. *Stepi Evrazii: sokhranenie prirodnoy raznoobraziya i monitoring sostoyaniya ekosistem: Materialy mezhdunarodnogo simpoziuma, 19–23 maya 1997 g.* Orenburg, 1997. Pp. 24–25.]

5. Левыкин С.В. Оренбуржье – степям навстречу: социально-экологическая реабилитация степей для устойчивого землепользования. Оренбург, 2005. [Levykin S.V. Orenburzh'e – stepyam navstrechu: sotsial'no-ekologicheskaya reabilitatsiya stepei dlya ustoichivogo zemlepol'zovaniya [Orenburg region turns its face to steppes: steppe social and ecological rehabilitation to sustainable land use]. Orenburg, 2005.]

6. Новая степная особо охраняемая природная территория в оренбургском Предуралье / Чибилёв А.А., Вельмовский П.В., Левыкин С.В., Чибилёв А.А. (мл.) // Проблемы региональной экологии. 2014. Вып. 1. С. 230–235. [Chibilev A.A., Velmovskiy P.V., Levykin S.V., Chibilyov A.A. (Jr.) The new nature area of preferential protection in Orenburg Preduralia. *Regional environmental issues*. 2014. Vol. 1. Pp. 230–235.]

7. Обустройство степных агроландшафтов и управление ими как ось конвергенции фундаментальных наук и природоподобных технологий / Левыкин С.В., Казачков Г.В., Яковлев И.Г., Грудинин Д.А. // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 3 (65). С. 194–196. [Levykin S.V., Kazachkov G.V., Yakovlev I.G., Grudinin D.A. The steppe agrarian landscapes arrangement and management as a fundamental sciences and nature simulating technologies convergence axis. *Izvestiya of Orenburg State Agrarian University*. 2017. № 3(65). Pp. 194–196.]

8. Оренбургская Тарпания. Газета Оренбургского областного общественного фонда «Возрождение Оренбургских степей». 2006. № 1, 2, 3, 4. [Orenburgskaya Tarpania. Newspaper of the Orenburg region public fund “Orenburg steppes reconstruction”. 2006. Vol. 1, 2, 3, 4.]

9. Программа по восстановлению лошади Пржевальского в Оренбургской области / Рожнов В.В., Спасская Н.Н., Чибилёв А.А. и др. М., 2005. [Rozh-nov V.V., Spasskaya N.N., Chibilev A.A. Programma po vosstanovleniyu loshadi Przheval'skogo v Orenburgskoi oblasti [The Programm on Przewalski horse reconstruction in Orenburgskaya oblast]. Moscow, 2005.]

10. Публикация конкурсных условий на право приобретения аренды земельных участков на территории Беляевского и Акбулакского районов Оренбургской области // Оренбуржье. Газета Правительства Оренбургской области. 2006. 23 августа. С. 28. [Publication of conditions of competition for taking on lease land plots in Belyaevskiy and Akbulakskiy districts of Orenburgskaya oblast. *Orenburzhye*. 23.08.2006. P. 28.]

11. Смелянский И.Э. Глобальный экологический фонд поддержал сохранение степных экосистем России // Степной бюллетень. 2010. Зима. № 28. С. 22–23. [Smelyanskiy I.E. The Global Environment Facility supports Russian steppe ecosystems conservation. *Steppe Bulletin*. 2010. Winter. № 28. Pp. 22–23.]

12. Чибилёв А.А. Заповедник «Оренбургский»: история создания и природное разнообразие. Екатеринбург, 2014. [Chibilev A.A. Zapovednik «Orenburgskii»: istoriya sozdaniya i prirodnoye raznoobrazie [The nature reserve “Orenburgskiy”: history of establishing and natural diversity]. Yekaterinburg, 2014.]

13. Чибилёв А.А. Степи Евразии: Национальные и региональные экологические интересы // Науч. тр. Гос. природного заповедника «Приурский». Чебоксары. М., 2002. Т. 9. Роль особо охраняемых природных территорий в сохранении

исчезающих степей Евразии. С. 4–7. [Chibilev A.A. Eurasian steppes: National and regional environmental interests. *Nauchnye trudy Gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika «Prisurskii»*. Cheboksary, Moscow, 2002. Vol. 9. The role by nature areas of preferential protection in vanishing Eurasian steppes conservation. Pp. 4–7.]

14. Чибилёв А.А. Экологическая оптимизация степных ландшафтов. Свердловск, 1992. [Chibilev A.A. *Ekologicheskaya optimizatsiya stepnykh landshaftov [The steppe landscapes ecological optimization]*. Sverdlovsk, 1992.]

15. Чибилёв А.А., Левыкин С.В. Принципы организации новых форм покровительственного сохранения ландшафтного и биологического разнообразия степей // Экология и природопользование: Сб. научн. тр., посвященный 90-летию со дня образования Уральской опытной станции и 100-летию со дня рождения Башмакова Н.И. Уральск, 2005. С. 56–63. [Chibilev A.A., Levykin S.V. The organization principles of new forms of steppe landscape- and biodiversity conservation. *Ekologiya i prirodnopol'zovanie: Sbornik nauchnykh trudov, posvyashchennyi 90-letiyu so dnya obrazovaniya Ural'skoi opytnoi stantsii i 100-letiyu so dnya rozhdeniya Bashmakova N.I.* Uralsk, 2005. Pp. 56–63.]

16. Чибилёв А.А., Левыкин С.В., Казачков Г.В. Проблемы социально-экологической реабилитации степей: парк-биостанция «Оренбургская Тарпания» // Проблемы геоэкологии и степеведения. Т. 3. Развитие научной школы в Институте степи УрО РАН / Под ред. А.А. Чибилёва и О.Г. Грошевой. Екатеринбург, 2012. С. 86–90. [Chibilev A.A., Levykin S.V., Kazachkov G.V. Problems of steppe social and ecological rehabilitation: biostation-park “Orenburgskaya Tarpania”. *Problemy geoekologii i stepovedeniya*. Vol. 3. Development of scientific school at Institute of steppe, Ural branch of Russian Academy of Sciences. A.A. Chibilev, O.A. Grosheva (eds.). Yekaterinburg, 2012. Pp. 86–90.]

Статья поступила в редакцию 12.02.2017.

The article was received on 12.02.2017.

Левыкин Сергей Вячеславович – доктор географических наук, профессор; заведующий лабораторией агроэкологии и землеустройства, Институт степи Уральского отделения РАН, г. Оренбург.

Levykin Sergey Vyacheslavovich – Dr. Geograph. Hab., Professor; Head of Agroecology and Land Management Laboratory, Institute of Steppe, Ural Branch of RAS, Orenburg, Russian Federation.

E-mail: stepvededy@yandex.ru

Казачков Григорий Викторович – кандидат биологических наук; научный сотрудник лаборатории агроэкологии и землеустройства, Институт степи Уральского отделения РАН, г. Оренбург.

Kazachkov Grigoriy Viktorovich – PhD in Biology; Researcher of Agroecology and Land Management Laboratory, Institute of Steppe, Ural Branch of RAS, Orenburg, Russian Federation.

E-mail: tsvikaz@yandex.ru

Опыт
экологического изучения
территорий

С.А. Аветян*, **Л.А. Балашова****

* Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
119234 г. Москва, Российская Федерация

** Независимый исследователь, г. Москва, Российская Федерация

Лесные насаждения Национального парка «Угра» в условиях неоднородности почвенной среды и изменения климата

Данная статья посвящена эдафическим аспектам лесоразведения. В ней рассматриваются возможные причины конкуренции древесных пород, связанные с разнообразием почвенных свойств и пестротой почвенного покрова на границе природных зон европейской части России. На различных участках Козельских засек лесоустойчивые параметры лесного ландшафта сопоставлялись с разнообразием почв и почвообразующих пород. Предложенный метод до настоящего времени фактически не применялся на исследуемой территории. Дуб на дерново-подзолистых почвах испытывает трудности с естественным возобновлением, что подтверждается отсутствием подроста породы. Представлен прогноз смены доминирующей породы в древостоях широколиственных лесов на завершающей стадии сукцессионного процесса из-за меньшей требовательности ясеня к свойствам почв и его выраженной теневыносливости по сравнению с дубом. Ареал обитания еловых сообществ сузится до зоны господства дерново-подзолов в почвенном покрове, что связано с накоплением органического вещества в почвах, развитием неморальных видов в травяном покрове в сочетании с перестройкой микробиоты.

Ключевые слова: дуб, ясень, серые лесные почвы, конкуренция древесных пород, доминирующие породы в древостоях широколиственных лесов, национальный парк «Угра».

S.A. Avetyan*, L.A. Balashova**

* Lomonosov Moscow State University, Moscow,
119234, Russian Federation

** Independent Researcher, Moscow, Russian Federation

Forest of National Park "Ugra" under conditions of soil heterogeneity and climate change

This article focuses on edaphic aspects of afforestation. It discusses possible causes of the competition of tree species associated with the diversity of soil properties and heterogeneity of the soil cover on the border of natural zones in the European part of Russia. Forest management parameters of the forest landscape were compared with the diversity of soils and soil-forming rocks in different parts of the Kozelskiy abatis. The proposed method has not actually been applied to the territory under investigation to date. Oak on soddy-podzolic soils experiences difficulties with natural regeneration, which is confirmed by the lack of growth of the new trees. The authors present a forecast of the change of the dominant species in the stands of broadleaf forests at the final stage of the succession process, due to the less exacting ash requirements for soil properties and its pronounced shade tolerance in comparison with oak. The habitat of spruce communities will be narrowed to the zone of dominance of sod-podzols in the soil cover, which is due to the accumulation of organic matter in the soils, the development of non-moral species in the grass cover combined with the restructuring of the microbiota.

Key words: Oak, ash, grey wood soils, competition of forest species, dominant species in broadleaf forests, National Park "Ugra".

Стремительное развитие городов, рост народонаселения, расширение площадей под застройку и сельскохозяйственные угодья создают определенные угрозы сохранению естественных лесных ландшафтов, являющихся, как известно, незаменимым источником кислорода для живых организмов и важнейшим компонентом геосистем густозаселенных территорий центральных областей европейской части страны.

Анализ причин глобальной деградации дубрав, серьезной и актуальной на сегодняшний день проблемы в ведении лесного хозяйства, позволил исследователям сделать общий вывод о том, что эта проблема

обусловлена комплексом многочисленных взаимосвязанных факторов, которые сложно и по-разному сочетаются в различных природно-климатических зонах [Белов, 1983]. В рамках разработки данной проблематики нами предпринята попытка обоснования причины уменьшения биоразнообразия широколиственного массива и тенденции к изменению породного состава древостоев, приведшей к уменьшению участия в них дуба.

Широколиственные коренные леса юго-востока Калужской области, являющиеся объектом нашего исследования, располагаются в границах Жиздринского участка, который занимает 32% общей площади Национального парка «Угра», и находятся в Козельском районе. Они представляли большую ценность еще в средние века и новое время. Их охране уделялось повышенное внимание со времен Ивана IV Грозного, распорядившегося запретить вырубку, в результате чего на территории Козельского района был создан своего рода прообраз заповедника с жесткими условиями соблюдения лесоохранных мероприятий.

Прекращение вырубок способствовало восстановлению и сохранению значительных массивов высокобонитетных дубрав. В то же время ряд участков рассматриваемой территории в XX в. подвергся выборочной рубке, распахке и частичному забрасыванию с одновременным повышением рекреационной и, в определенной мере, пастбищной нагрузки, что, несомненно, сказалось на состоянии биогеоценозов и сукцессионных процессах на залежных массивах. С 1997 г. участок Столпицкой засеки – часть Козельских засек, на территории которого расположен исследуемый древостой, вошел в границы национального парка «Угра».

В сочетании с климатическими условиями формирования лесного ландшафта, флуктуационные колебания которых оказывают определенное воздействие на соотношение групп хвойных и лиственных фитоценозов, эдафические факторы ландшафтообразования данного региона также существенным образом влияют на характер и состояние растительных сообществ, в особенности, на границах природных зон, которые, как было установлено в свое время В.В. Докучаевым, являются и границами, разделяющими различные типы почвообразования. Сложное сочетание разновозрастных и полигенетичных осадочных горных пород обуславливает достаточно широкое разнообразие типов почвообразования, приводящих к формированию наряду с дерново-подзолистыми почвами на моренном бескарбонатном суглинке серых лесных почв на карбонатном лессовидном пылеватом суглинке, а также песчаных дерново-подзолов на двучленных флювиогляциально-моренных отложениях [Афанасьева, Василенко и др., 1979; Апарин, Рубилин, 1975].

В ходе изучения пестроты и характера древостоя различных участков Козельских заповедников лесоустроительные параметры лесного ландшафта сопоставлялись с разнообразием почв и почвообразующих пород. Такого рода метод выявления причинно-следственной связи до настоящего времени фактически не применялся на исследуемой территории. А между тем, фрагменты старовозрастных широколиственных лесов в границах исследуемого участка, а также за его пределами – на территории Березичского лесничества в целом, могут сыграть роль центров по восстановлению полносоставных разновозрастных широколиственных лесов как генетических резерватов природного разнообразия и источников ценных ресурсов.

Рассмотрим подробнее взаимосвязи наиболее значимых лесообразующих пород с особенностями почвообразования.

Дуб черешчатый. В пределах рассматриваемой территории эта древесная порода произрастает исключительно на серых лесных и дерново-подзолистых почвах, что соответствует общепризнанным представлениям о высокой требовательности дуба к свойствам почв, включая гумусированность, близкую к нейтральной реакцию среды, повышенную степень насыщенности основаниями почвенно-поглощающего комплекса и емкость поглощения, влагоемкость и водопроницаемость почв и почвообразующих пород.

Имеющиеся данные свидетельствуют о более выраженной приуроченности дубрав на заключительных этапах сукцессии к ареалам серых лесных почв, что отражается в преобладании дубовых формаций, занимающих до 50% площади распространения серых лесных почв на исследуемом участке. Благоприятные для произрастания широколиственных лесов свойства серых лесных почв, характеризующихся значительным содержанием гумуса (до 3,5–4%), сочетанием хорошей водопроницаемости с выраженной влагоемкостью, относительно высокой (до 80%) степенью насыщенности основаниями, коррелирующей с карбонатностью почвообразующей и подстилающей породы, представленной лесовидным карбонатным суглинком [Ахтырцев, 1979], обуславливают широкое распространение дубрав как наиболее требовательных к эдафическим условиям древесных пород.

Росту и развитию дубовых насаждений во многом способствует, согласно современным представлениям, которых придерживается руководство национального парка «Угра», участие в формировании ландшафта копытных, таких как зубр европейский, в историческом прошлом обитавший на больших пространствах широколиственных лесов и ныне завезенный и размножающийся на территории Березичского

лесничества [Балашова, 2015]. Позитивная роль зубра заключается в том, что он, наряду с обогащением почвы органическим веществом, способствует вследствие поедания подроста устранению растений-конкурентов [Битков, 2014].

Важным моментом, определяющим возможности успешного развития дуба, является специфика строения его корневой системы, глубоко проникающей в подпочвенные горизонты, формирующей значительную биомассу и обладающей существенной разветвленностью, что предопределяет высокую ветроустойчивость и господствующее положение в растительном сообществе в условиях достаточной обеспеченности биофильными элементами. В то же время произрастающие на дерново-подзолистых почвах дубравы нередко при достижении возраста, превышающего 100 лет, испытывают дефицит минеральных компонентов, обусловленный, по-видимому, проникновением корневых систем в слои подстилающих ледниковых пород московского возраста, характеризующихся высокой выветренностью и выщелоченностью, что приводит к массовому усыханию древостоя.

Дискуссионным представляется вопрос о причинах массового распространения дубрав на территории средней части Восточно-Европейской равнины в домонгольском средневековье. Можно предположить, что благоприятные климатические условия в ту эпоху способствовали накоплению органического вещества на протяжении длительного времени в условиях повсеместного развития травянистого покрова под пологом разновозрастных широколиственных лесов и предопределяли во многом активный рост и расселение дуба, стержневые корневые системы которого, отмирая, становились источником биофильных элементов и обогащали ими глубокие слои горных пород. Густота насаждений и, соответственно, обилие корневых систем обуславливали создание оптимальной среды, в которой горные породы насыщались питательными элементами, доступными только дубам. В настоящее время наблюдается снижение конкурентной способности дуба вследствие длительного перерыва господства его как лесообразующей породы.

Ясень обыкновенный. В отличие от дуба, ясень широко распространен фактически на всей рассматриваемой территории, за исключением пойменных ландшафтов, где его процентное содержание в древостоях составляет незначительную часть. Ясень, по сравнению с дубом, менее требователен к свойствам почв и успешно произрастает даже на слабокислых, супесчаных, обедненных органическим веществом почвах, что делает его более конкурентоспособным в сукцессионном ряду [Атрохин, Кузнецов, 1989].

Корневая система ясеня поверхностная, мощная, сильно разветвленная, с недоразвитым стержневым корнем, тем не менее, зависима от климатических условий и аккумуляции влаги в поверхностных горизонтах почв, что ограничивает прирост древесины и обуславливает неравномерность хода роста в онтогенезе древостоя. На начальных этапах сукцессии корни ясеня, активно поглощая атмосферную влагу и сокращая влагозапас почвогрунта, тем самым усложняют процесс прохождения дуба через прегенеративный период. Кроме того, вместе с влагой в корневые системы ясеня в вегетационный период поступает большое количество питательных веществ, обедняя ими почвенный раствор, что также неблагоприятно сказывается на развитии соседствующих с ним одновозрастных древесных пород.

По достижении зрелого возраста растительное сообщество с доминированием ясеня аккумулирует, за счет отмирающих многочисленных крупных корней, значительные резервы биофильных элементов, используемых древесными породами с неглубоко залегающей корневой системой для активного поддержания биокруговорота и вегетации на фоне подавления развития дуба, вынужденного довольствоваться малым количеством элементов питания, содержащихся в горной породе. Поверхностные горизонты большинства лесных почв изобилуют корневыми системами разнообразной древесно-кустарниковой растительности, что увеличивает концентрационную функцию питательных элементов и обогащает ими верхнюю часть почвенно-грунтовой толщи, в то время как дуб не имеет дополнительных источников биофильных компонентов по причине отсутствия древесных пород со сходной корневой системой.

Ель обыкновенная. Находясь на южной границе ареала своего распространения и присутствуя в виде посадок, ель, склонная к произрастанию на кислых, слабогумусированных, текстурно-дифференцированных почвах, проигрывает в конкурентной борьбе широколиственным древесным породам – коренным лесам исследуемой территории. Несмотря на теневыносливость и относительную дальность разноса семян, слабая корневая система, замедленный рост в прегенеративном периоде за счет влияния травянистой растительности в сочетании с плохо коррелирующими с хвойной флорой свойствами серых лесных почв обуславливают преимущества широколиственных пород над еловыми. Об этом свидетельствует отсутствие подроста ели в пределах участков широколиственных лесов на серых лесных почвах и его незначительная роль в древостоях на дерново-подзолистых почвах. Лишь дерново-подзолы – песчаные, двучленные, малопригодные для лиственной растительности – являются закономерным ареалом их распространения.

Таким образом, современное состояние почвенно-растительного покрова бывших Козельских засек свидетельствует о сложных взаимоотношениях различных групп растений, среди которых ведущую роль играют лесообразующие широколиственные породы, конкурирующие друг с другом на фоне неоднородности почв и почвообразующих пород, а также влияния антропогенного фактора на ландшафтообразование. При этом в конкурентной борьбе между ясенем и дубом особое значение приобретают их биологические параметры – требовательность к свету на ранних этапах развития.

В то же время существенным показателем, определяющим доминирование в сообществе широколиственных лесов, является их обеспечение влагой и питательными веществами, непосредственно зависящее от специфики строения корневых систем древесных пород и особенностей состава и свойств почв, материнских и подстилающих горных пород. В частности, в конкурентной борьбе на сегодняшний день лидирующая позиция принадлежит ясеню, корневая система которого, ввиду особенностей строения, использует запасы питательных элементов, накопленные древесно-кустарниково-травянистой растительностью и содержащиеся в верхнем метровом слое почв, где локализована основная масса корней.

Дуб, вследствие масштабных вырубок в целях отопления жилищ, в результате наступления «малого ледникового периода» на значительный период времени потерял свое доминирующее значение в древостое. Потепление климата в XIX в. в сочетании с возобновлением породы лесопосадками способствовало в целом расселению этой ценной древесной породы на большей части исследуемой территории, в том числе и на дерново-подзолистых почвах. Что касается серых лесных почв, то наличие двух зон аккумуляции биофильных элементов – с поверхности почв – за счет биологического фактора, и в подпочвенных горизонтах – вследствие карбонатности лессовидных суглинков, является оптимальным условием для естественного возобновления дуба без участия человека.

Проведенные исследования современного состояния фитоценозов и анализ связей растительного и почвенного покрова позволяют нам сделать следующие выводы.

1. В изучаемых ландшафтах, несмотря на лидирующее положение дуба, растет процентное содержание ясеня в древостоях широколиственных лесов. В обозримом будущем следует ожидать, по нашим прогнозам, смену доминирующей породы. По-видимому, причинами такого рода явления на завершающей стадии сукцессионного процесса

являются меньшая требовательность ясеня к свойствам почв и его выраженная теневыносливость по сравнению с дубом.

2. Дуб на дерново-подзолистых почвах испытывает трудности с естественным возобновлением, что подтверждается отсутствием подроста породы. Это, вероятно, связано, с одной стороны, с перехватом влаги и необходимых питательных элементов, содержащихся в верхних слоях, ясенем, а с другой стороны, в зрелом возрасте – с дефицитом биофильных компонентов в почвообразующей породе. Можно предположить, что в ходе экспансии дуба при потеплении климата произойдет обогащение подпочвенных горизонтов дерново-подзолистых почв биофильными элементами, следовательно, будет возможна оптимизация свойств почвообразующих пород по отношению к дубу.

3. По нашим представлениям, накопление органического вещества в почвах, развитие неморальных видов в травяном покрове в сочетании с перестройкой микробиоты осложнят функционирование еловых сообществ и сузят ареал их обитания до зоны господства дерново-подзолов в почвенном покрове.

Единственным способом лесоразведения, оптимизирующим условия для естественного возобновления дубрав, а также ускоряющим процесс их распространения по всей изучаемой территории в настоящее время, является формирование искусственных дубовых лесопосадок на дерново-подзолистых почвах. Участками для таких посадок могут служить в основном вторичные низкобонитетные леса, а также площади, занятые усыхающими деревьями, в том числе и широколиственными.

Библиографический список / References

1. Атрохин В.Г., Кузнецов Г.В. Лесоводство. М., 1989. [Atrokhin V.G., Kuznetsov G.V. Lesovodstvo [Forestry]. Moscow, 1989.]
2. Апарин Б.Ф., Рубилин Е.В. Особенности почвообразования на двучленных породах северо-запада Русской равнины. Л., 1975. [Aparin B.F., Rubilin E.V. Osobennosti pochvoobrazovaniya na dvuchlennykh porodah severo-zapada Russkoj ravniny [Features of soil formation on the dual rocks of the North-West of the Russian plain]. Leningrad, 1975.]
3. Почвы СССР / Афанасьева Т.В., Василенко В.И., Терешина Т.В. и др. М., 1979. [Afanasjeva T.V., Vasilenko V.I., Tereshina T.V. et al. Pochvy SSSR [Soils of the USSR]. Moscow, 1979.]
4. Ахтырцев Б.П. Серые лесные почвы Центральной России. Воронеж, 1979. [Akhtyrtsev B.P. Serye lesnye pochvy Central'noj Rossii [Grey wood soils of Central Russia]. Voronezh, 1979.]
5. Белов С.В. Лесоводство. М., 1983. [Belov S.V. Lesovodstvo [Forestry]. Moscow, 1983.]
6. Битков Л.М. Царь деревьев под угрозой // Весть. № 346. 04.12.2014. С. 3. [Bitkov L.M. The king of trees under threat. Vest'. № 346. 04.12.2014. P. 3.]

7. Балашова Л.А. Лесные насаждения бывших Козельских засеков и эдафические факторы, влияющие на них: Выпускная квалификационная работа. Международный независимый эколого-политологический университет, Москва, 2015. [Balashova L.A. Lesnye nasazhdeniya byvshikh Kozel'skikh zaseki i edaficheskie faktory, vliyayushchie na nikh [Forests of former forest district "Kozelskiye zaseki" and edaphic factors affecting them]. Final qualifying work. International Independent Ecological and Political University, Moscow, 2015.]

Статья поступила в редакцию 23.05.2017.

The article was received on 23.05.2017.

Аветян Сергей Андреевич – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник кафедры общего почвоведения факультета почвоведения, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Avetyan Sergei A. – PhD in Biology; Senior Researcher of Department of General Soil Science of Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University

E-mail: avetyan-serg@mail.ru

Балашова Любовь Александровна – эколог, независимый исследователь

Balashova Lyubov A. – Ecologist, Independent Researcher

E-mail: balashowa.liubov@yandex.ru

Н.В. Терехина*, **О.М. Семёнов***, **Г.А. Фирсов****

* Санкт-Петербургский государственный университет,
199034, Россия, г. Санкт-Петербург

** Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН,
197376, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Экологическое состояние почв и основных древесных пород в Ботаническом саду Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН¹

В последние годы отмечено неудовлетворительное состояние деревьев, высаженных вдоль границ Ботанического сада Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН. Для установления причины угнетения деревьев были проведены исследования с использованием физиономических и биогеохимических методов. Визуальные признаки состояния деревьев дали худшие показатели для деревьев, растущих по периферии сада. Также вблизи проезжей части наблюдаются повышенные концентрации ионов Na^+ и Cl^- в почвах и в коре деревьев, причем в коре липы они в 2–4 раза превышают фоновые. Загрязнение почв тяжелыми металлами выявлено в восточной части сада, где отмечены высокие концентрации Mn , Zn , Pb и Cd . Содержание тяжелых металлов в листьях деревьев незначительно превышает фоновые значения. Содержание тяжелых металлов в коре деревьев существенно превышает фоновые значения по всем исследованным элементам, кроме Mn и Co . Основными элементами-загрязнителями выступают Pb , Cu , Ni . Высокие значения суммарного показателя загрязнения корки деревьев отмечены как на периферии сада, так и в его центре, что говорит о невозможности дифференцировать территорию сада по уровню загрязнения тяжелыми металлами. Загрязнение среды солями у краин сада проявляется сильнее, оказывая стрессовое воздействие на древесную растительность, однако в каждом конкретном случае угнетение деревьев может быть усилено воздействием дополнительных причин (подтопление, заболевания и др.).

¹ Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН по теме № 0126-2014-0021 «Коллекции живых растений Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (история, современное состояние, перспективы развития и использования)».

Ключевые слова: ботанический сад, Ботанический сад БИН им. В.Л. Комарова РАН, древесная растительность в ботаническом саду, физиономические признаки угнетения деревьев, биогеохимия, тяжелые металлы, засоление почв, загрязнение почв и деревьев тяжелыми металлами.

N.V. Terekhina*, **O.M. Semenov***, **G.A. Firsov****

* Saint Petersburg State University,
Saint Petersburg, 199034, Russian Federation

** Komarov Botanical Institute, Russian Academy of Sciences,
Saint Petersburg, 197376, Russian Federation

Ecological condition of soils and basic tree species in the Botanical Garden of the Komarov Botanical Institute RAS²

In recent years, unsatisfactory condition of trees planted along the borders of the Botanical Garden of the Komarov Botanical Institute RAS was noted. Studies were carried out to determine the cause of tree oppression using physiognomic and biogeochemical methods. Visual signs of the state of trees gave the worst indicators for trees growing on the periphery of the garden. Also near the roadway there are higher concentrations of Na^+ and Cl^- ions in the soils and in the tree crust, and in the crust of the linden they are 2–4 times higher than in the background ones. Soil contamination with heavy metals (HM) is confined to the eastern part of the garden, where high concentrations of Mn, Zn, Pb and Cd are noted. The content of HM in the leaves of the trees does not significantly exceed the background values. The content of HM in the tree crust significantly exceeds the background values for all studied elements, except for Mn and Co. The main pollutants are Pb, Cu, Ni. High values of the total indicator of contamination of the tree crust are noted both on the periphery of the garden and in its center, which indicates that it is impossible to differentiate the garden area by the level of HM contamination. Pollution of the environment by salts in the outskirts of the garden manifests itself

² The work was carried out within the framework of the state task according to the thematic plan of Komarov Botanical Institute, Russian Academy of Sciences on the topic #0126-2014-0021 “Collection of live plants of Komarov Botanical Institute, Russian Academy of Sciences (history, present conditions, perspective of the development and use)”.

more strongly, exerting a stressful effect on woody vegetation, however, in each specific case, the inhibition of trees can be intensified by the action of additional causes (flooding, diseases, etc.).

Key words: botanical garden, Botanical Garden of the Komarov Botanical Institute RAS, trees in botanical garden, physiognomic signs of tree oppression, biogeochemistry, heavy metals, salinization, soil contamination with heavy metals.

Ботанический сад Петра Великого Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН является одним из старейших в России. На его территории собрана уникальная коллекция растений, в том числе древесных, высаженных на парковой территории. Это единственный из крупных садов мира, расположенный на 60° северной широты. Коллекции его живых растений представляют как научный, так и познавательный интерес. В то же время Парк-дендрарий служит местом отдыха жителей и гостей города.

Первоначально почти все пространство на Аптекарском острове в Санкт-Петербурге, где находится Ботанический сад, представляло хотя «жидкий», но повсеместный лес на болотистой почве [Липский, 1913]. Какое-либо антропогенное воздействие отсутствовало, и добраться сюда вначале можно было только на лодке. В настоящее время Сад находится в кольце автомагистралей и расположен вблизи городских котельных, предприятий и учреждений. Буферная зона отсутствует, и сразу за оградой находятся улицы и набережные с интенсивным автомобильным движением. До недавних пор острой проблемой было нарушение гидрологического режима территории.

Опыт интродукции древесных растений в Санкт-Петербурге, насчитывающий три века, показывает, что зимостойкость является основным фактором, ограничивающим здесь разведение деревьев [Фирсов, Фадеева, 2009]. Однако в условиях потепления климата Санкт-Петербурга [Фирсов, 2014] в парке-дендрарии БИН наметилась тенденция к ухудшению состояния многих деревьев разных видов, что, очевидно, не связано с зимостойкостью.

В последние годы отмечено ухудшение состояния древесных пород некоторых видов, высаженных вдоль границ Сада. При этом деревья еще не достигли предельного возраста. Причиной угнетения деревьев могут являться многие факторы. В данной работе рассматриваются биогеохимические, связанные с воздействием загрязняющих веществ, поступающих от автотранспорта, а также с обработкой дорог противогололедными реагентами.

Ботанический сад расположен между Аптекарской набережной, набережной Карповки, Аптекарским проспектом и улицей Профессора Попова; занимает территорию 16,5 га. Состояние атмосферного воздуха района, оцениваемое по результатам наблюдений Станции автоматизированной системы мониторинга, расположенной на ул. Профессора Попова, 48, за последние семь лет оценивается как неблагоприятное: наблюдается стабильное превышение ПДК по таким загрязнителям, как оксид азота, оксид углерода, мелкодисперсные взвешенные частицы $PM_{2,5}$ [Доклад об экологической ситуации..., 2011–2017]. Помимо собственных промышленных предприятий, территория района находится под влиянием выбросов вредных веществ в атмосферу от соседних районов. Кроме того, в районе имеются магистрали городского значения с интенсивным движением транспорта и частым возникновением пробок. Здесь отмечается стабильно высокое превышение предельно допустимых концентраций по целому ряду атмосферных загрязнителей.

Проведенные ранее исследования Ботанического сада [Почвы парка БИН, 1981; Раппопорт, 2004] показали, что абсолютные высоты территории сада 2–5 м над уровнем моря, коренными породами являются аллювиальные отложения, преимущественно мелкозернистый песок, местами встречались торфяные залежи; почвы в саду образовались в результате постоянной подсыпки грунта; имеют мощный гумусовый горизонт (больше 20–30 см). Подстилка практически отсутствует в результате сезонного сбора опада листьев. По дренированности и увлажнению почвы в большинстве относятся к категории дренированных нормального увлажнения. Исключение представляют юго-восточный угол сада с самыми низкими отметками; эти почвы переувлажнены и оглеены. Большинство почв парка являются дерновыми антропогенными суглинистыми, в юго-восточном углу – дерново-перегнойными глееватыми антропогенными суглинистыми. Почвы Сада имеют близкую к нейтральной реакцию среды, не свойственную зональным почвам. Низкие значения кислотности (5,9–6,6) наблюдаются лишь в восточной части парка. В городских почвах высокие значения рН связаны с попаданием на поверхность почвы строительного бытового мусора, антигололедных реагентов – хлоридов натрия, калия. Чем продолжительнее антропогенное воздействие, тем на большей глубине находится максимум величины рН, который приурочен к погребенным гумусовым горизонтам и нижним частям урбиковых горизонтов.

По количеству подвижного калия почвы парка могут быть охарактеризованы как обеспеченные: всюду содержание калия превышает 10 мг на 100 г почвы. В западной части парка отмечается исключительно

высокое количество калия в гумусовых горизонтах почв: 34 мг на 100 г почвы. Содержание фосфора в почвах сада крайне неравномерно. Оно колеблется от 5 до 70 мг на 100 г почвы. Такой разброс может быть связан с неравномерным внесением фосфорных удобрений (если таковые вносились), а также с бедностью фосфором недавно подсыпанных почв. Каких-либо пространственных закономерностей в распределении почв с различным количеством подвижного фосфора проследить не удалось. По степени обеспеченности подвижными формами фосфора и калия исследованные почвы приближаются к дерново-подзолистым средней степени окультуренности.

Содержание гумуса в почвах Сада довольно пестрое: встречаются участки как с высоким содержанием гумуса в почве, так и со средним, и с низким. На большей территории величина отношения углерода к азоту имеет довольно узкие пределы, что свидетельствует о высоком потенциальном плодородии почв. Содержание серы в почвах Сада очень велико, что свидетельствует о сильном загрязнении почв в условиях современного города. Отношение азота к сере в почвах колеблется около единицы, тогда как в чистых условиях оно составляет 5–10. Сам по себе избыток серы в почве при близких к нейтральным значениям pH и высоком содержании гумуса не является токсичным. Но избыток серы может увеличивать дефицит азота, который является лимитирующим фактором в лесных почвах.

В поверхностных современных гумусовых горизонтах наблюдается большое число копролитов. Это отличает почвы садов от большинства городских почв, для которых характерно пониженная активность мезофауны, особенно из группы сапрофагов.

Таким образом, судя по литературным данным, почвы Ботанического сада Петра Великого находятся почти в оптимальных условиях.

Фитопатологическое обследование территории Сада показало наличие почвообитающих фитофтор. Выявлен ряд деревьев и кустарников с признаками фитоптороза, некоторые деревья погибли из-за выпревания шейки корня или усыхают. Авторы предполагают, что возрастающие утраты ценных растений зависят от наличия в почве этих опасных почвообитающих патогенов [Новые данные о распространении видов рода *Phytophthora*..., 2016].

Методы исследования

На территории Ботанического сада нами исследовались деревья вида *Acer platanoides* L. (клен остролистный) и рода *Tilia* (преимущественно *Tilia cordata* Mill. липа сердцевидная) на 16 пробных площадях,

заложенных вдоль ограды и в центре Сада (рис. 1). В качестве условного фона были взяты 3 пробных площади в парке Сергиевка (г. Петергоф) и 4 – в парке Дубки (г. Сестрорецк). Экологическое состояние деревьев определялось по физиономическим признакам (биогеохимический и паразитарный хлороз, некроз, суховетвистость и др.); кроме того, с деревьев отбирались образцы корки и листьев для дальнейших биогеохимических анализов [Уфимцева, Терехина, 2005]. Помимо деревьев, исследовался верхний горизонт почв в непосредственной близости от них (пробы взяты методом конверта с глубины 0–10 см).

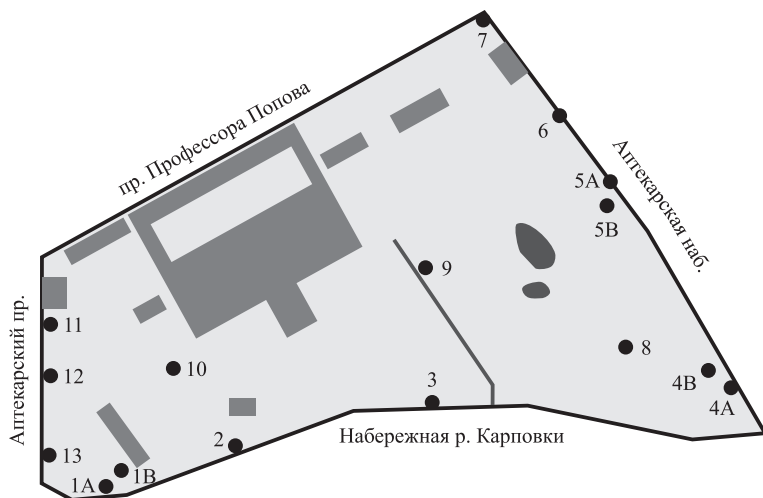


Рис. 1. Схема расположения пробных площадей на территории Ботанического сада БИН РАН

Fig. 1. Scheme of the location of the trial areas in the Botanical Garden of the Komarov Botanical Institute RAS

Для оценки визуально определяемого состояния деревьев был вычислен *взвешенный нормированный средний балл жизнеспособности* по формуле:

$$Q = Q(q; w) = Q(q_1, \dots, q_m; w_1, \dots, w_m) = \sum q_i w_i,$$

где q – нормированные значения показателей; w – весовые коэффициенты: 0,5 – для биогеохимических некрозов, 0,25 – для класса сквозистости и биогеохимических хлорозов для деревьев в разреженных насаждениях, 0,1 – для класса сквозистости деревьев в плотных посадках и рощах, 0,4 – для хлорозов для деревьев в плотных посадках и рощах

[Хованов, 1996]. Чем выше значение показателя, тем хуже состояние деревьев по визуально определяемым признакам.

Обработка проб проводилась в Лаборатории геоэкологического мониторинга Института наук о Земле СПбГУ. Определение концентрации ионов Na^+ и Cl^- в почвенных растворах проводилось на ионометре с ионо-селективным электродом. Анализ аммонийно-ацетатной буферной вытяжки (рН 4,8) проб почв и озоленных проб растений (сухое озолнение) на содержание микроэлементов проводился на атомно-абсорбционном спектрометре с пламенной атомизацией [Опекунова и др., 2002]. По результатам анализа были вычислены следующие показатели.

1. Коэффициент концентрации (K_k), рассчитывается как отношение содержания элемента в загрязненной пробе к фоновым показателям [Геохимия..., 1990]. Фоновые показатели по Ленинградской области были взяты из литературных источников: для почв – данные И.В. Дроздовой с соавторами (2015), для растений – данные М.Д. Уфимцевой, Н.В. Терехиной (2005).

2. Нормированный суммарный показатель загрязнения (Z_{cn}), рассчитывается по формуле:

$$Z_{cn} = \sum K_k w - (n - 1),$$

где K_k – коэффициент концентрации больше 1; w – весовые коэффициенты: 1,5 для Pb, Cd, Zn; 0,5 для Fe, Mn; 1 для Ni, Cu, Cr, Co; n – число элементов, у которых $K_k > 1$ [Геохимия..., 1990; Водяницкий, 2010].

Обсуждение результатов

Результаты исследования физиономических признаков состояния деревьев показали, что самые низкие показатели отмечены для насаждений вдоль набережной р. Карповки ($Q = 1,37$). Пробные площади, непосредственно не примыкающие к границам сада, характеризуются лучшим состоянием древесных пород ($Q = 0,12$), также как и деревья в парке Дубки ($Q = 0,06$), хотя в парке Сергиевка деревья в целом находятся в более угнетенном состоянии ($Q = 0,29$), чем в центре Сада.

Важный биогеохимический параметр – зольность – имеет наименьшее значение для корки клена и липы в центре Ботанического сада, чего нельзя сказать о зольности листьев: для них такая закономерность не была выявлена (табл. 1). Зольность листьев и корки деревьев в загородных парках ниже по сравнению с Ботаническим садом БИН.

Результаты анализов на содержание ионов Na^+ и Cl^- в почве показали максимальные значения вдоль Аптекарской набережной (табл. 2). В целом наблюдается увеличение засоления почв от центра сада к проезжей части.

Таблица 1

**Зольность корки и листьев деревьев
и ее превышение над фоновыми показателями**

Пробная площадь	Показатель зольности / Превышение над фоном, в разы			
	Корка клена	Корка липы	Листья клена	Листья липы
ПП 3	9,54% / 2,2	6,08% / 1,31	10,23% / 1,18	–
ПП 4 А	12,36% / 2,66	–	9,26% / 1,07	–
ПП 4 В	–	7,29 / 1,56	–	–
ПП 5	9,45% / 2,03	–	8,20% / 0,95	–
ПП 6	–	12,71% / 2,73	–	13,79% / 1,59
ПП 7	–	10,68/2,3	–	9,90% / 1,14
ПП 9	5,89% / 2,37	–	10,81% / 1,25	–
ПП 10	–	6,87% / 1,48	–	10,03% / 1,16
ПП 11	10,98% / 2,36	–	13,19% / 1,52	–
ПП 13	10,32% / 2,21	–	11,04% / 1,27	–
С	6,32% / 1,36	6,49% / 1,39	9,43% / 1,09	7,56% / 0,87
Д	6,69% / 1,44	5,40% / 1,16	7,59% / 0,87	9,64% / 1,11

Фоновые данные по: [Уфимцева, Терехина, 2005]

Таблица 2

**Содержание ионов Na⁺ и Cl⁻
в почве, корке клена и корке липы (мг/кг)**

Участок	Почва		Корка клена		Корка липы	
	Na ⁺	Cl ⁻	Na ⁺	Cl ⁻	Na ⁺	Cl ⁻
Аптекарская наб.	39,46	69,58	221,50	201,23	276,36	174,98
Набережная р. Карповки	31,84	63,47	95,66	115,07	226,24	105,85
Аптекарский пр.	29,37	40,79	109,12	193,58	–	–
Центр Ботанического сада	23,97	38,27	45,21	81,23	114,03	76,32
Среднее по Ботаническому саду	32,76	56,78	122,08	150,60	232,60	135,49
Парк Сергиевка	30,89	55,38	64,89	142,11	80,14	105,45
Парк Дубки	22,96	46,88	56,84	93,69	46,04	120,64

Содержание ионов Na^+ и Cl^- в корке клена демонстрирует более контрастную картину: максимальные концентрации отмечены на пробных площадях вдоль Аптекарской наб. и вдоль Аптекарского пр., а минимальные – в центре сада (там они ниже показателей в загородных парках). Для корки липы концентрации ионов Na^+ и Cl^- выше, чем в корке клена, но закономерности пространственного распределения те же, только в центре сада содержание натрия выше, чем в загородных парках.

В целом, у краин сада наблюдаются повышенные концентрации обоих элементов во всех типах проб, что можно объяснить поступлением в почвы солей при использовании противогололедных реагентов в зимнее время. Засоление почв, в свою очередь, приводит к повышенным концентрациям ионов Na^+ и Cl^- в корке деревьев. При этом на содержание солей в почвах также влияет их вымывание в нижележащие горизонты. Выявлена зависимость между показателями жизнеспособности древесных растений и концентрациям ионов в почве: состояние деревьев ухудшается при увеличении засоления почв. Таким образом, засоление несомненно оказывает влияние на состояние деревьев, высаженных близко к ограде, где они в условиях солевого стресса сильнее подвержены воздействию других факторов.

Содержание подвижных форм микроэлементов в почвах ботанического сада почти на всех пробных площадях не превышает эти показатели для загородных парков (табл. 3), лишь ПП 7 отличается высокими концентрациями всех исследованных элементов, кроме Fe и Co.

Загрязнение почти всех образцов почв по суммарному показателю загрязнения относятся к допустимому уровню, и только на ПП 7 почва характеризуется умеренно опасным уровнем загрязнения. Довольно высокий показатель Z_{sp} для почвы в Сергиевке, вероятно, обусловлен значительными концентрациями марганца, не превышающими, однако, ПДК.

Надо отметить, что распределение тяжелых металлов в почвах не связано с интенсивностью автотранспортной нагрузки и распределено случайным образом. В Ботаническом саду БИН такую ситуацию можно объяснить периодической подсыпкой нового слоя почв. Очень высокий уровень загрязнения на ПП 7, которая расположена на небольшом участке между оградой и зданием, связан с тем, что здесь, по-видимому, вообще не проводились какие-либо мелиоративные мероприятия.

Содержания тяжелых металлов в листьях клена и липы не показали высоких значений. При сравнении их с фоновыми данными [Уфимцева, Терехина, 2005] только Pb продемонстрировал превышение концентрации в 2–4 раза и, местами, Cu, Cr, Co – в 1,5–2 раза (табл. 4).

Таблица 3

**Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах (мг/кг)
и нормированный суммарный показатель загрязнения**

№ ПП	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Ni	Cr	Co	Cd	Zen
ПП 3	23,30	67,55	20,650	14,550	0,487	0,5650	0,3840	0,4900	0,1480	9,59
ПП 4	31,15	82,80	20,550	23,750	1,350	1,0410	0,3170	0,9800	0,1330	13,08
ПП 5	80,55	67,15	19,550	17,900	4,455	1,3200	0,5240	0,0430	0,0693	7,62
ПП 6	51,45	69,30	24,250	14,450	3,250	0,7625	0,9010	0,5985	0,2280	12,65
ПП 7	54,50	158,00	642,000	230,000	9,910	2,2300	1,8650	0,0769	0,3120	225,78
ПП 9	23,95	46,60	22,800	18,000	1,025	1,9850	0,4550	0,9600	0,3320	14,07
ПП 10	156,00	14,25	6,775	7,880	3,905	0,8010	0,9465	0,0000	0,1535	4,41
ПП 11	88,80	29,40	14,100	12,800	5,080	0,6680	0,9540	0,0960	0,0563	4,36
ПП 13	53,80	13,10	18,100	5,855	1,305	0,5460	0,2150	0,7700	0,0850	6,91
Сергиевка	37,70	383,00	10,350	16,250	5,270	0,7605	1,2600	2,2050	0,0698	16,86
Дубки	224,50	103,00	35,500	15,650	6,770	1,4900	1,5000	0,2280	0,0905	15,12
Фон	1444,00	20,30	5,050	14,200	3,520	1,4200	1,0200	0,4500	0,0700	

Фоновые данные по: [Дроздова и др., 2015].

Таблица 4

Коэффициент концентрации, нормированный суммарный показатель загрязнения, соотношение Fe и Mn для образцов корки и листьев деревьев

№ ПП	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Ni	Cr	Co	Cd	Zcn	Fe/Mn
ПП 3	0,39	0,05	0,55	2,69	0,63	0,23	0,88	1,57	0,80	4,60	10,13
ПП 4	0,34	0,24	0,49	2,27	0,56	0,25	1,02	2,08	0,90	4,51	1,78
ПП 5	0,46	0,05	0,83	2,87	1,83	0,36	1,07	2,18	0,00	6,38	11,35
ПП 9	0,30	0,20	0,95	2,30	0,77	0,55	1,47	0,92	1,29	4,84	1,93
ПП 11	0,43	0,61	1,59	3,89	1,47	0,80	2,87	1,11	0,59	9,67	0,90
ПП 13	0,61	0,15	0,97	2,81	1,05	0,57	1,33	1,73	1,10	5,98	5,19
Сергеевка	0,19	2,01	2,40	0,52	1,57	0,00	1,37	0	1,05	5,13	0,12
Дубки	0,11	0,44	0,93	3,04	1,66	0,21	1,61	1,16	0,00	5,99	0,30
В листьях <i>Tilia cordata</i> и <i>T. europaea</i>											
ПП 6	0,47	0,07	1,04	3,73	2,86	1,09	2,09	3,48	0	11,67	8,76
ПП 7	0,51	0,07	1,14	4,24	1,73	1,09	2,09	1,74	0,67	9,73	9,62
ПП 10	0,21	0,93	0,82	3,15	1,83	2,74	2,52	2,54	1,49	11,58	0,29
Сергеевка	0,12	0,35	0,54	4,38	1,80	0,46	0,50	1,12	0,00	7,50	0,44
Дубки	0,24	2,02	1,58	3,74	2,26	1,89	1,01	1,73	0,21	9,87	0,15

Окончание таблицы 4

№ ПП	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Ni	Cr	Co	Cd	Zn	Fe/Mn
ПП 3	3,19	1,53	1,60	16,00	9,52	10,38	1,73	0,39	1,82	46,12	16,78
ПП 4	0,13	0,87	1,69	9,19	11,24	7,36	1,95	0,35	1,73	34,45	1,17
ПП 5	3,96	0,79	2,36	16,28	15,63	12,93	6,65	0,18	0,97	60,14	40,27
ПП 9	2,39	0,70	0,76	11,38	6,80	9,75	1,75	0,24	1,29	33,50	27,31
ПП 11	1,45	0,73	2,16	5,84	7,59	7,36	3,88	0,14	1,26	27,43	15,91
ПП 13	3,64	0,55	2,53	4,98	39,24	13,22	2,05	0,46	3,06	66,19	53,03
Сергеевка	0,17	2,34	0,69	0,72	2,71	0,83	0,39	0,15	0,43	2,88	0,59
Дубки	0,07	1,96	0,68	0,70	2,86	0,61	0,48	0,12	1,37	3,89	0,27
В корке <i>Tilia cordata</i> и <i>T. europaea</i>											
ПП 3	2,76	0,24	1,10	4,06	8,64	10,70	1,94	0,36	1,15	26,12	93,93
ПП 4	4,42	0,40	1,19	8,40	12,09	7,55	2,26	0,34	1,21	34,31	87,71
ПП 6	1,03	0,37	3,55	6,32	14,36	12,10	4,43	0,69	1,13	41,92	22,44
ПП 7	7,07	0,24	2,30	10,54	17,05	13,47	9,25	0,16	0,63	57,56	233,86
ПП 10	5,92	0,17	0,72	12,48	16,12	19,17	10,27	0,09	1,48	64,47	275,96
Сергеевка	0,15	1,79	0,67	0,91	2,95	1,19	0,45	0,08	0,43	3,04	0,66
Дубки	0,32	3,64	0,54	1,26	2,91	1,31	0,63	0,15	0,56	4,92	93,93

Полужирным выделены значения $K_k > 1$.

Нормированный суммарный показатель загрязнения для листьев клена варьирует в пределах 4,51–9,67; для листьев липы – 7,5–11,67.

Иная картина наблюдается для корки деревьев. Здесь превышения над фоном существенные практически для всех исследованных элементов, кроме Mn и Co, как для клена, так и для липы. Особо высокие значения K_k в Ботаническом саду отмечены для Cu (6,8–39,24), Pb (4,06–16,28), Ni (7,36–13,47), Cr (1,73–10,27), Fe (1,03–5,92), что свидетельствует о многолетнем накоплении веществ-загрязнителей в корке деревьев. Нормированный суммарный показатель загрязнения для корки клена варьирует в пределах 27,43–66,19, для корки липы – 26,12–64,47. В загородных парках содержание марганца в корке деревьев выше фоновых значений, что говорит скорее не о загрязнении, а о нормальных концентрациях биофильного элемента; по большинству же элементов превышения фоновых значений не наблюдается.

Основываясь на уровнях загрязнения почв по Z_{sp} [Гигиеническая оценка качества почвы, 1999], можно сказать, что для листьев уровень загрязнения низкий, а для корки – средний и высокий. По пространственному распределению Z_{sp} трудно сделать выводы о закономерностях накопления металлов в ботаническом саду. На ПП 10, находящейся в центре Ботанического сада, отмечено высокое значение данного показателя для корки липы. Минимальные значения соответствуют ПП 3 и 4 с не самым благоприятным состоянием деревьев. Для загородных парков показатели Z_{sp} для листьев мало отличаются от городских, а для корки они существенно ниже, что говорит о незначительной антропогенной нагрузке.

Стабильность отношения Fe/Mn имеет большое индикационное значение, нарушение которого приводит к различного рода биологическим реакциям и указывает на трансформацию урбогеосистем. В фоновых условиях отношение Fe/Mn варьирует в пределах 0,4–8,3, достигая 80–120 в зонах чрезвычайной экологической ситуации [Виноградов, 1935; Терехина, Уфимцева, 2016]. В нашем случае отношение Fe/Mn для листьев деревьев в ряде пробных площадей Ботанического сада превышает 8, в загородных парках оно меньше 1. Для корки деревьев, на абсолютном большинстве пробных площадей в Ботаническом саду это отношение существенно выше 8, а на ПП 7 и 10 превышают 200, что объясняется чрезвычайно высокой концентрацией Fe.

Содержание всех изученных элементов в листьях деревьев распределено случайно, оно отражает главным образом текущий уровень загрязнения за вегетационный период. Большая разница между городом и пригородными парками не выявляется. Что касается корки,

отображающей поступление элементов за многолетний период, то концентрации всех изученных элементов в Сергиевке и Дубках ниже, чем в городе; для Pb, Ni, Cr, Fe эта разница особо велика. Такие результаты демонстрируют повышенный уровень загрязнения городской среды. Ни по одному элементу, кроме Zn, содержание которого значительно меньше в корке деревьев, высаженных в центре Сада, не наблюдается никакой приуроченности их содержания в корке к состоянию растений или уровню автотранспортной нагрузки. Таким образом, усиленное поступление тяжелых металлов в растения в городских условиях примерно одинаково влияет на всю древесную растительность Ботанического сада в связи с его небольшой территорией.

Заключение

По физиономическим признакам наихудшим состоянием характеризуются деревья, высаженные у границ Ботанического сада БИН, что обусловлено близостью к проезжей части. При этом значения выраженности экологического состояния древесных пород варьируют и не очень сильно отличаются от показателей, вычисленных для условного фона (Сергиевка, Дубки).

Корка деревьев краевых посадок, принимающих на себя пылевидные частицы, характеризуются повышенной зольностью, которая в 2–2,6 раз превышает условный фон. Зольность листьев в загородных парках немного ниже, чем в городе. В Ботаническом саду вблизи проезжей части в почвах наблюдаются повышенные концентрации ионов Na^+ и Cl^- , откуда они поступают в ткани растений. Концентрации ионов Na^+ , Cl^- в почвах загородных парков схожи с их концентрацией в почве центра Ботанического сада. В корке деревьев содержание этих ионов выше, чем в почвах, что связано с меньшей вымываемостью их из корки, но пространственное распределение то же. Для клена наивысшие значения содержания этих загрязнителей в корке по сравнению с почвой отмечены на ПП 5А и 11, для липы – на ПП 4В, 2, 3, где деревья характеризуются неудовлетворительным физиономическим состоянием, что позволяет считать засоление его причиной.

Тяжелыми металлами загрязнены почвы в восточной части Сада, где отмечены высокие концентрации Mn, Zn, Pb и Cd. Содержание тяжелых металлов в листьях деревьев незначительно превышает фоновые значения по Pb, Cu, Cr, Co. Содержание тяжелых металлов в корке деревьев превышает фоновые значения по всем исследованным элементам, кроме Mn и Co; основными элементами-загрязнителями выступают Pb, Cu, Ni, для которых средние значения K_x составляют 9–14; вторую группу

элементов-загрязнителей представляют Fe, Zn, Cr, для которых K_k равен 1,8–4,2. Высокий суммарный показатель загрязнения корки деревьев отмечен как на периферии Сада, так и в его центре, что говорит о невозможности дифференцировать территорию сада по уровню загрязнения тяжелыми металлами; только концентрация Zn в корке деревьев ниже в центральной части Сада.

Сравнение уровня загрязнения почв и растений Ботанического сада и парков Сергиевка и Дубки показало незначительные отличия по содержанию элементов-загрязнителей в почвах и существенные различия для растений, причиной чего могут служить регулярные работы по обновлению почв в Ботаническом саду. Загрязнение среды солями у границы Сада проявляется сильнее, оказывая стрессовое воздействия на древесную растительность, однако в каждом конкретном случае угнетение деревьев может быть усилено воздействием дополнительных факторов. Так, в почвах Ботанического сада БИН выявлены почвообитающие виды фитогтор [Почвообитающие виды рода *Phytophthora*..., 2014], вызывающих болезни растений. Кроме того, на территории парка присутствуют участки переувлажнения почв.

С целью сохранения коллекционных деревьев рекомендуется провести дополнительное фитопатологическое обследование территории Ботанического сада Петра Великого, промывать корни деревьев специальными питательными смесями [Гусев, 2004], а также улучшить дренаж на проблемных участках.

Библиографический список / References

1. Виноградов А.П. Химический элементарный состав организмов и периодическая система Д.И. Менделеева // Тр. биогеохим. лаб. АН СССР. М., 1935. Т. 3. С. 5–30. [Vinogradov A.P. Chemical elemental composition of organisms and the periodic system of D.I. Mendeleev. *Proc. of biogeochem. lab. USSR Academy of Sciences*. M., 1935. Vol. 3. Pp. 5–30.]
2. Водяницкий Ю.Н. Формулы оценки суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами и металлоидами // Почвоведение. 2010. № 10. С. 1276–1280. [Vodianitskiy Y.N. The formulas for assessing the total pollution of soils with heavy metals and metalloid. *Soil science*. 2010. № 10. Pp. 1276–1280.]
3. Геохимия окружающей среды / Отв. ред. Ю.Е. Сает. М., 1990. [Geokhimiya okruzhayushchei sredy [Geochemistry of the environment]. Y.E. Saet (ed.). Moscow, 1990.]
4. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. МУ 2.1.7.730-99. [Gigienicheskaya otsenka kachestva pochvy naselennykh mest [Hygienic assessment of soil quality in residential areas]. State standard 2.1.7.730-99.]
5. Гусев А.П. Фитоиндикация процессов подтопления в городском ландшафте // Природные ресурсы. 2004. № 3. С. 72–76. [Gusev A.P. Phytointication

of flooding processes in the urban landscape. *Natural resources*. 2004. № 3. Pp. 72–76.]

6. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге / Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности г. Санкт-Петербурга. СПб., 2011–2017. [Doklad ob ekologicheskoi situatsii v Sankt-Peterburge [The report on the environmental situation in St. Petersburg]. Committee for Nature Use Environmental Protection and Ecological Safety of St. Petersburg, (ed.). St. Petersburg, 2011–2017.]

7. Дроздова И.В., Алексеева-Попова Н.В., Беляева А.И. Уровень содержания тяжелых металлов в системе почва – растение некоторых особо охраняемых природных территорий г. Санкт-Петербурга и Ленинградской области // Экологические проблемы промышленных городов: Сб. науч. тр. по материалам 7-й Всероссийской научно-практич. конференции с международным участием / Под ред. проф. Е.И. Тихомировой. Ч. 1. Саратов, 2015. С. 251–254. [Drozdova I.V., Alekseeva-Popova N.V., Belyaeva A.I. Levels of heavy metals in the system soil-plant in some especially protected natural territories of St. Petersburg and Leningrad region. *Ekologicheskie problemy promyshlennykh gorodov*. Proc. of 7-th Russian scientific-practical conf. with international participation. E.I. Tikhomirova (ed.). Part 1. Saratov, 2015. Pp. 251–254.]

8. Липский В.И. Исторический очерк Императорского С.-Петербургского Ботанического Сада // Императорский С.-Петербургский Ботанический Сад за 200 лет его существования (1713–1913). Ч. 1. СПб., 1913. [Lipsky V.I. Historical essay of the Imperial St. Petersburg Botanical Garden. *Imperatorskii S.-Peterburgskii Botanicheskii Sad za 200 let ego sushchestvovaniya (1713–1913)*. Part 1. St. Petersburg, 1913.]

9. Новые данные о распространении видов рода *Phytophthora* и их влиянии на состояние древесных растений в Ботаническом саду Петра Великого (БИН РАН, Санкт-Петербург) / Фирсов Г.А., Малышева В.Ф., Малышева Е.Ф. и др. // Микология и фитопатология. 2016. Т. 50. Вып. 6. С. 401–414. [Firsov G.A., Malysheva V.F., Malysheva E.F. et al. New data on the distribution of species of the genus *Phytophthora* and their impact on the condition of woody plants in the Botanical garden of Peter the Great (BIN RAS, St. Petersburg). *Mycology and Phytopathology*. 2016. Vol. 50. Ed. 6. Pp. 401–414.]

10. Опекунова М.Г., Арестова И.Ю., Елсукова Е.Ю. Методы физико-химического анализа почв и растений: Методические указания. СПб., 2002. [Opekunova M.H., Arestova I.Y., Elsukova E.Y. *Metody fiziko-khimicheskogo analiza pochv i rastenii* [Methods of physico-chemical analysis of soils and plants]. Guidelines. St. Petersburg, 2002.]

11. Почвообитающие виды рода *Phytophthora* в Ботаническом саду БИН РАН. II. Результаты двухлетнего мониторинга / Веденяпина Е.Г., Фирсов Г.А., Волчанская А.В., Воробьев Н.И. // Микология и фитопатология. 2014. Т. 48. Вып. 5. С. 322–332. [Venediapina E.G., Firsov G.A., Volchanskaia A.V., Vorobiev N.I. Soil-inhabiting species of *Phytophthora* genera in the Botanical Garden BIN RAS. II. The results of two years monitoring. *Mycology and Phytopathology*. 2014. Vol. 48. Ed. 5. Pp. 322–332.]

12. Почвы парка БИН. Результаты почвенно-агрохимического обследования парка БИН: Отчет / Почвенно-экологическая группа отдела геоботаники;

Рук. О.Г. Чертов. 1981. [Pochvy parka BIN. Rezul'taty pochvenno-agrokhimicheskogo obsledovaniya parka BIN [The soil of the Park Komarov Botanical Institute. The results of soil and agrochemical survey of the Park BIN]. Report. Soil-ecological group of the geobotany division; head O.G. Chertov. Leningrad, 1981.]

13. Раппопорт А.В. Антропогенные почвы городских ботанических садов (на примере Москвы и Санкт-Петербурга): Дис. ... канд. биол. наук. М., 2004. [Rappoport A.V. Antropogennye pochvy gorodskikh botanicheskikh sadov (na primere Moskvy i Sankt-Peterburga) [Anthropogenic soils in urban Botanical gardens (on example of Moscow and St. Petersburg)]. PhD Diss. Moscow, 2004.]

14. Сагт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. М., 1990. [Saet Ju.E., Revich B.A., Yanin E.P. Geokhimiya okruzhayushchei sredy [Environmental Geochemistry]. Moscow, 1990.]

15. Терехина Н.В., Уфимцева М.Д. Критерии оценки деструкции урбогеосистем на основе интегральной экофитоиндикации (на примере Санкт-Петербурга) // Современные тенденции развития биогеохимии / Отв. ред. В.В. Ермаков. М., 2016. С. 446–453. [Terekhina N.V., Ufimtseva M.D. Evaluation criteria of destruction of urban geosystems based on the integral of ecophytoindication (on example of St. Petersburg). *Sovremennye tendentsii razvitiya biogeokhimii*. V.V. Ermakov (ed.). Moscow, 2016. Pp. 446–453.]

16. Уфимцева М.Д., Терехина Н.В. Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем Санкт-Петербурга. СПб., 2005. [Ufimtseva M.D., Terekhina N.V. Fitoindikatsiya ekologicheskogo sostoyaniya urbogeosistem Sankt-Peterburga [Phytoindication of ecological state of urban geosystems of St. Petersburg]. St. Petersburg, 2005.]

17. Фирсов Г.А. Древесные растения Ботанического сада Петра Великого (XVIII–XXI вв.) и климат Санкт-Петербурга // Ботаника: история, теория, практика (к 300-летию основания Бот. ин-та им. В.Л. Комарова Российской академии наук): Тр. международной научной конференции. СПб., 2014. С. 208–215. [Firsov G.A. Woody plants of the Botanical garden of Peter the Great (XVIII–XXI centuries) and climate of St. Petersburg. *Botanika: istoriya, teoriya, praktika (k 300-letiyu osnovaniya Botanicheskogo instituta im. V.L. Komarova Rossiiskoi akademii nauk)*. Proc. of international scientific conference. St. Petersburg, 2014. С. 208–215.]

18. Фирсов Г.А., Фадеева И.В. Критические зимы в Санкт-Петербурге и их влияние на интродуцированную и местную дендрофлору // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 188. СПб., 2009. С. 100–110. [Firsov G.A., Fadeeva I.V. Critical winters in Saint-Petersburg and its influence on introduced and local dendroflora. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*. Vol. 188. St. Petersburg, 2009. Pp. 100–110.]

19. Хованов Н.В. Анализ и синтез показателей при информационном дефиците. СПб., 1996. [Hovanov N. V. Analiz i sintez pokazatelei pri informatsionnom defitsite [Analysis and synthesis of parameters under information deficiency]. St. Petersburg, 1996.]

Статья поступила в редакцию 14.05.2017.

The article was received on 14.05.2017.

Терехина Наталия Владимировна – кандидат географических наук; доцент кафедры биогеографии и охраны природы Института наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет

Terekhina Nataliya V. – PhD in Geography; Associate Professor of Department of Biogeography and Nature Protection of Institute of Earth Sciences, Saint Petersburg State University

E-mail: n.terehina@spbu.ru

Семёнов Олег Михайлович – магистрант кафедры цитологии и гистологии биологического факультета, Санкт-Петербургский государственный университет

Semenov Oleg M. – Graduate student of Department Cytology and Histology of Biological Faculty, Saint Petersburg State University

E-mail: semyonov.somspb@yandex.ru

Фирсов Геннадий Афанасьевич – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник, куратор парка-дендрария Ботанического сада, Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург

Firsov Gennadiy A. – PhD in Biology; Senior Reseacher, Curator of Park-Arboretum of Botanical Garden, Komarov Botanical Institute RAS, St.-Petersburg

E-mail: gennady_firsov@mail.ru

М.В. Костина, О.И. Ясинская, Н.С. Барабанщикова

Московский педагогический государственный университет,
119991 г. Москва, Россия

Разработка научно-обоснованного подхода использования клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) в озеленении Москвы

В связи с усиливающейся техногенной нагрузкой в Москве остро встает вопрос об ассортименте древесных пород, поскольку большинство аборигенных и чужеродных видов не выдерживают воздействие неблагоприятных факторов городской среды. Североамериканский клен ясенелистный является опасным инвазионным видом, который полностью вышел из-под контроля человека. Цель исследования состояла в разработке научно-обоснованного подхода использования этого вида для озеленения проблемных в экологическом отношении территорий Москвы. Высокая семенная продуктивность и всхожесть семян привели к формированию зарослей этого вида, состоящих из искривленных и наклоненных деревьев. Формированию таких зарослей способствовало и отсутствие контроля со стороны озеленителей. При выращивании клена ясенелистного с соблюдением всех правил посадки и ухода развиваются прямоствольные декоративные деревья. Высокая скорость роста, отсутствие серьезных болезней и вредителей, способность выдерживать неблагоприятные экологические условия позволяют быстро выращивать дешевый материал, пригодный для озеленения оживленных улиц. Легкая инициация спящих почек дает возможность облагораживать искривленные и наклоненные деревья путем обрезки. Прореживание зарослей с удалением, прежде всего, женских растений, также является одним из способов улучшения ситуации с этим видом в городе. Обобщение литературных данных показало, что полное уничтожение в городе этого вида, составляющего около 40% от всех деревьев, усугубит неблагоприятную экологическую ситуацию. Однако там, где могут

расти другие виды деревьев, по мнению авторов, клен ясенелистный подлежит полному истреблению.

Ключевые слова: *Acer negundo*, биологические инвазии, экология города, озеленение городов, озеленение Москвы, использование клена ясенелистного в озеленении.

M.V. Kostina, O.I. Yasinskaya, N.S. Barabanshchikova

Moscow State University of Education,
Moscow, 119991, Russian Federation

Development of scientifically based approach to using box elder (*Acer negundo* L.) as an ornamental tree in Moscow

The problem of tree species choice for city ornamentation purposes in Moscow is acute due to increasing anthropogenic environmental stress. Most of native and alien tree species appear to be highly susceptible to harsh city environments. The North American box elder is an invasive alien species no longer controlled by humans. The aim of our research was to develop a scientifically based approach to the use of this species in ornamentation of ecologically problematic areas of Moscow. High seed yield and germination success lead to formation of box elder stands comprised by bent and crooked trees without any control by man. However, growing box elder plants under controlled conditions (keeping up the rules of planting and growing ornamental trees) leads to formation of upright ornamental trees. High grow rate, lack of any serious diseases and pests, high ecological sustainability enable to grow trees suitable for ornamentation of streets with high traffic load fast and cheap. Light initialization of sleeping buds by means of cutting enables to improve crooked and bent trees. Thinning out existent box elder thickets by eliminating mostly female trees may improve the situation as well. The analysis of literature indicates that full elimination of this species from the city tree stands may make the city environmental situation worse. However, in areas where other tree species may grow, the box elder should be completely eliminated.

Key words: *Acer negundo*, biological invasions, city environment, ornamentation of cities, ornamentation of Moscow.

Озеленение – одна из важных составляющих благоустройства современных городов [Теодоронский, Жеребцова, 2010; Копылов, 2017; Семенова, 2017]. В связи с усиливающейся в Москве техногенной нагрузкой остро встает вопрос об ассортименте древесных пород, устойчивых к неблагоприятным экологическим факторам городской среды. Поскольку территория города в экологическом отношении весьма неоднородна, то особенно проблемными с точки зрения подбора пригодных для озеленения древесных пород являются магистральные улицы, а также небольшие скверы и парки, окруженные магистральными улицами, дворовые территории и территории в общественных центрах городов. Произрастающие вдоль оживленных улиц деревья находятся в условиях повышенной загазованности и запыленности воздуха. Увеличение количества автотранспорта на магистралях и улицах городов приводит к значительному накоплению токсических веществ в почвах [Теодоронский, Жеребцова, 2010]. Крайне неблагоприятное воздействие на растения оказывают противогололедные реагенты, вызывающих засоление почвы [Королев и др., 2009].

В Москве высаживают как аборигенные, так и чужеродные виды деревьев. Большинство аборигенных видов не могут быть использованы в озеленении проблемных в экологическом отношении территорий, поскольку не выдерживают воздействие неблагоприятных факторов городской среды: поражаются вредителями и болезнями и быстро погибают [Кузьмичев и др., 2004; Диагностические признаки..., 2006]. К этим древесным породам относятся такие лесообразующие породы Московского региона, как ель обыкновенная (*Picea abies* (L.) Karst.), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) и дуб черешчатый (*Quercus robur* L.). Поэтому желание многих граждан видеть в своих дворах эти деревья в большинстве случаев практически не осуществимы.

Самыми устойчивыми из аборигенных видов являются липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), клен остролистный (*Acer platanoides* L.) и береза повислая (*Betula pendula* Roth). Однако широко используемая в озеленении липа мелколистная поражается тиростромозом (возбудитель – гриб *Thyrostroma compactum*) [Соколова, Кузьмичев, 1988; Кузьмичев и др., 2004]. Встречаемость болезни повышается с увеличением доли участия липы в составе насаждения и его полноты. Береза в экстремальных условиях изменяет форму роста и из прямостоячего превращается в корявое дерево, на котором нередко возникают структуры, называемые «ведьмины метлы» [Kostina et al., 2015]. Следует помнить также, что пыльца березы у многих людей вызывает аллергические реакции и приступы бронхиальной астмы.

В озеленении Москвы широко применяются чужеродные виды деревьев. Однако большая часть этих видов недостаточно адаптирована к местному климату и не может быть использована для озеленения проблемных в экологическом отношении территорий. Ряд чужеродных видов, например, дуб красный (*Quercus rubra* L.), липа крупнолистная (*Tilia platyphylla* Scop.) требуют проведения дополнительных испытаний на предмет их пригодности для озеленения проблемных территорий. Интересно отметить, что такие устойчивые к воздействию негативных факторов городской среды чужеземные породы, как тополя, в последнее время вызывают недовольство населения, прежде всего, из-за образования пуха, которому приписываются аллергенные свойства.

Часть чужеродных видов в условиях культуры выходит из-под контроля человека. Они начинают самостоятельно распространяться по антропогенным местообитаниям, а наиболее агрессивные из них – внедряться в естественные сообщества [Виноградова и др., 2010; Адвентивная флора..., 2012]. Такие виды называют инвазионными.

Одним из таких древесных интродуцентов является североамериканский инвазионный клен ясенелистный (*Acer negundo* L.). В настоящее время процент *A. negundo* среди всех деревьев, используемых в озеленении Москвы, составляет около 40%, а в некоторых дворах может достигать 80% [Костина и др., 2013]. До недавнего времени численность *A. negundo* в городе не регулировалась; его подрост не уничтожался, сложно было получить разрешение на вырубку этой древесной породы [Костина и др., 2013; Жуков, Ломоносова, 2016]. В настоящее время высказывается точка зрения по принятию комплексной программы по полной замене этого сорного вида на другие древесные породы [Жуков, Ломоносова, 2016].

Цель написания данной статьи состоит в обобщении данных о биологии *A. negundo* и разработке научно обоснованных рекомендаций по уходу за этой древесной породой, а также регулированию ее численности в городских посадках.

Биолого-экологические особенности клена ясенелистного

Североамериканский вид *A. negundo* представляет собой листопадное двудомное анемофильное дерево, достигающее в высоту до 20 и более метров.

Родина *A. negundo* – Северная Америка, где он имеет обширный ареал и входит в состав многих фитоценозов, включая болота, пойменные леса, мезотрофные лиственные и хвойные леса, различные виды прерий и полей. Чрезвычайно высокий диапазон местообитаний – результат

высокой толерантности к дефициту почвенной влаги и нехватке питательных веществ в почве [Виноградова и др., 2010].

В России *Acer negundo* стал широко использоваться в озеленении с конца XIX в. Натурализация этого вида в Средней России началась во второй половине XX в. В настоящее время *A. negundo* полностью вышел из-под контроля человека. В большинстве регионов России, за исключением самых северных, занимает одно из первых мест среди наиболее агрессивных чужеродных видов [«Black»-лист..., 2015]. Он заселяет как нарушенные местообитания (пустыри, обочины автомобильных дорог, откосы железнодорожных путей, дворы и т.п.), так и внедряется в естественные сообщества. В Москве и в Подмосковье в изобилии населяет прибрежные фитоценозы вдоль рек [Игнатов и др., 1990; Виноградова и др., 2010; Адвентивная флора..., 2012], проникает в антропогенно нарушенные сосняки и пораженные типографом ельники [Адвентивная флора..., 2012; К вопросу о вторжении клена ясенелистного..., 2015].

A. negundo – это быстрорастущая древесная порода. Уже на 5–12-й год жизни молодое растение может достигнуть генеративной стадии развития [Антонова, Гниловская, 2013]. Раннее вступление в генеративный период дает возможность определить пол у молодых деревьев. Отмечены различия между полом растений и их предпочтением к среде обитания: женские растения лучше растут в более влажных и богатых питательными веществами местах [Виноградова и др., 2010]. О том, что мужские растения более приспособлены к произрастанию на засушливых и засоленных реагентами почвах, говорит и то, что крона мужских растений более густая, чем крона женских [Костина, 2009].

Ствол у *A. negundo* сохраняет вертикальное направление роста, только если деревья растут на открытом пространстве или в лесу. При неравномерном освещении ствол изгибается или наклоняется в сторону света, вынося, таким образом, крону в благоприятные условия освещения [Костина и др., 2013].

Максимальный возраст – 60–100 лет, но в загущенных городских посадках начинает отмирать в 25–30 лет [Попова и др., 2010]. Однако обследование старых посадок *A. negundo* показало, что деревья, посаженные с соблюдением всех правил посадки и ухода, имеют прямоствольную форму роста и доживают до 70 лет. Высота таких деревьев редко превышает 15 м. Крона раскидистая, расположена низко. Это связано с тем, что у деревьев, растущих разрежено и равномерно освещенных со всех сторон, ствол нередко раздваивается, что приводит к формированию мощных ветвей, которые придают кроне сказочно

красивую форму [Костина и др., 2013, 2016]. *Acer negundo*, вторгающийся в антропогенно нарушенные сосняки, имеет форму прямостоячего дерева с высоко расположенной кроной [Костина и др., 2016].

Для *A. negundo* характерно большое количество спящих почек, которые легко иницируются при естественном старении первичной кроны. На основе побегов, образующихся из спящих почек, происходит формирование вторичной кроны, которая постепенно замещает первичную и существенно продлевает продолжительность жизни дерева.

Изгибы или наклон ствола также способствует инициации спящих почек. В месте изгиба ствола или на наклоненном стволе формируются вертикально растущие побеги. При обрезке вертикально расположенной части ствола на основе этих побегов может сформироваться вторичная крона дерева.

Жизненная форма *A. negundo* – одноствольное дерево. Небольшая корневая и пневая поросль появляются только в конце жизни растения, что облегчает уход за данной древесной породой, поскольку не требует усилий со стороны озеленителей по ее удалению, как, например, у осины, некоторых культиваров тополей. Однако выпиливание или вырубка растений под корень приводит к формированию многоствольных деревьев. Образование этой жизненной формы связано с развитием из спящих почек, находящихся в основании материнского ствола, мощных порослевых побегов, на основе которых формируются дочерние стволы.

Благодаря спящим почкам крона *A. negundo* быстро восстанавливается после омолаживающей обрезки, когда дерево спиливают на высоте 4–5 м. Спящие почки просыпаются по всей длине ствола в основании годичных приростов. Но наиболее мощные побеги, которые со временем дадут начало нескольким дочерним стволам, образуются непосредственно под местом спила [Казанский, 1973; Костина и др., 2013].

Для *A. negundo* характерно ежегодное и обильное плодоношение и высокая всхожесть семян [Майтулина, 1980; Виноградова, 2006]. На незадернованных почвах под пологом деревьев проростки *A. negundo* нередко формируют сплошной покров [Костина и др., 2013].

Благодаря высокой семенной продуктивности и всхожести семян *A. negundo* способен к образованию многоярусных зарослей, благодаря образованию которых он захватывает территорию и удерживает ее от проникновения других видов, в том числе и аборигенных. Такие заросли обычно возникают на пустырях, по обочинам дорог, около заборов, под пологом редко посаженных деревьев других пород, например, тополей, лип, кленов. На первых этапах формирования таких зарослей молодые виргинильные растения имеют вертикальное направление

роста. С возрастом подрастающие деревца начинают затенять друг друга, что приводит к формированию искривленных и наклоненных деревьев. Продолжительность жизни таких деревьев составляет в среднем 30–40 лет. Искривленные и наклоненные стволы, многоствольные формы имеют низкую декоративность. При экстремальных погодных условиях, таких, как штормовой ветер, обледенение, интенсивный снегопад, наклоненные деревья представляют опасность как для людей, так и для транспорта [Костина и др., 2013; К вопросу о вторжении клена ясенелистного..., 2015].

В Москве *Acer negundo* поражаются грибным заболеванием *Phyllosticta negundinis* (коричневая пятнистость). Болезнь проявляется в появлении красновато-коричневых пятен, распространяющихся по жилкам от центра листа к периферии. Кроме того, из-за воздействия комплекса неблагоприятных экологических факторов листья у *A. negundo* повреждаются неинфекционным токсикозом. На начальном этапе развития этой болезни по периферии листовой пластинки появляется кремоватая кайма, дальнейшее расширение которой приводит к скручиванию и раннему опадению листьев. В наибольшей степени эта болезнь проявляется у деревьев, образующие заросли вдоль оживленных автомобильных дорог [Диагностические признаки..., 2006; К вопросу о вторжении клена ясенелистного..., 2015]. Однако эти болезни не наносят *A. negundo* ощутимый вред.

Обсуждение

При решении вопроса об использовании *A. negundo* в озеленении Москвы следует, прежде всего, принимать во внимание его высокую инвазионную активность. Однако нельзя сбрасывать со счетов способность *A. negundo* произрастать в крайне неблагоприятных условиях городской среды, а также то, что в настоящее время это одна из самых распространенных древесных пород в Москве и массовое уничтожение *A. negundo* приведет к усугублению неблагоприятной экологической ситуации в городе.

В СМИ проскальзывает неподтвержденная информация о сильной аллергичности пыльцы этого вида, об образовании корневых отпрысков у *A. negundo*, затрудняющих работу озеленителей, и о том, что растение ядовито. Следует отметить, что в последнее время в СМИ также активно проводится идея уничтожения тополей, которые, как и *A. negundo*, широко используются в озеленении города, поскольку обладают высокой устойчивостью к воздействию выхлопных газов и способностью произрастать на засоленных почвах [Пчелин, 2007].

Уничтожение тополей и клена ясенелистного предполагает замену их другими видами. Однако все другие как аборигенные, так и чужеродные виды деревьев, произрастающие в городе, находятся на пределе своих биологических возможностей, ослаблены и легко поражаются вредителями и болезнями. Так, например, вяз гладкий (*Ulmus laevis* Pall.) и вяз голый (*U. glabra* Huds.) с их прекрасными густыми кронами, неприхотливые к почвенным условиям, в любой момент могут быть поражены неизлечимой голландской болезнью вяза (графийоз ильмовых), а аборигенный ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.) и широко используемый в озеленении в 1970–90-х гг. вместо липы мелколистной ясень пенсильванский (*F. pennsylvanica* Marsch.) – жуком короедом узкотелой изумрудной златкой (*Agrylus planipennis* Fairmair.), случайно занесенным из Северной Америки [Мозолевская, 2007].

В последнее время в качестве палочки-выручалочки предлагают использовать липу мелколистную и клен остролистный. Однако сплошная и массовая посадка деревьев этих самых выносливых аборигенных видов приведет к более быстрому распространению их собственных болезней и вредителей, о чем постоянно предупреждают специалисты по защите растений [Кузьмичев и др., 2004; Диагностические признаки..., 2006].

Также следует отметить, что массовое использование в озеленении любого чужеродного вида со временем повышает не только его устойчивость к климатическим условиям данного региона, но и его инвазионную активность [Адвентивная флора..., 2012]. Так, *Acer negundo* более пятидесяти лет не проявлял склонность к одичанию, а затем постепенно превратился (не без помощи человека, массово использующего этот вид в озеленении без надлежащего контроля за его поведением) в опаснейший инвазионный вид. Поэтому применение в озеленении чужеродных видов требует пристального и строгого контроля и совместных и слаженных действий ботаников и озеленителей.

Возвращаясь к объекту нашего исследования, следует отметить, что в каждом конкретном случае следует учитывать последствия уничтожения *A. negundo* на той или иной территории. Например, если он произрастает по периметру сквера или небольшого парка, окруженных магистральными улицами, то лучше его полностью не удалять, т.к. он защищает другие виды деревьев, растущие в глубине парка или сквера, от неблагоприятного воздействия выхлопных газов и реагентов. При прореживании дворовых территорий, бульваров или парков, заросших *A. negundo*, следует учитывать, какие породы там остаются и насколько они потенциально подвержены болезням и вредителям.

Поскольку *Acer negundo* является одним из опаснейших инвазионных видов, то все наши рекомендации по выращиванию этой древесной породы в Москве следует относить только к территориям с крайне неблагоприятной экологической ситуацией. На таких территориях следует использовать все виды деревьев, способные улучшать условия жизни людей. В отношении районов с более благоприятными условиями политика по отношению к *A. negundo* должна быть иной. В парках и лесопарках, в пойменных лесах следует беспощадно бороться с этим видом.

Следует полностью прекратить посадку *A. negundo* в городах и поселках, где экологическая ситуация позволяет успешно расти аборигенным видам и чужеродным видам, не проявляющим инвазионной активности.

Регулирование численности *A. negundo*, прежде всего, должно осуществляться путем уничтожения подроста, причем в течение первых 2–3 лет жизни. Удаление более взрослых растений потребует гораздо больших усилий и денежных затрат (использование гербицидов, выкорчевывание).

Интенсивному распространению *A. negundo* самосевом препятствует осенне-весенний сбор листового опада. Регулярные стрижки газона также способствуют удалению проростков и ювенильных экземпляров.

На тех территориях, где *A. negundo* уже образовал заросли, выполняющие полезные функции, например, между жилыми домами и оживленными городскими магистралями, можно, зная особенности его биологии, придать деревьям более благородный вид и продлить их жизнь. Для этого необходимо прореживать заросли с применением гербицидов, удаляя прежде всего женские растения. Изогнутые деревья следует обрезать и формировать вторичную крону (рис. 1, 2).

Эффективней осуществить процедуру прореживания зарослей на первых этапах их формирования, когда растения еще не затеяют друг друга, но уже вступили в генеративный период. Это позволит получить мужские деревья с прямоствольной формой роста.

A. negundo можно предложить для озеленения магистральных улиц Москвы вместо лип. Благодаря его высокой скорости роста и раннему определению пола можно в течение 10 лет получать пригодные к посадке мужские растения высотой более 8 м. Однако следует подчеркнуть, что при выращивании *A. negundo* в питомниках необходим строгий контроль за выбраковкой и уничтожением женских растений. В противном случае питомники станут источником распространения этого опасного инвазионного вида в естественные сообщества.

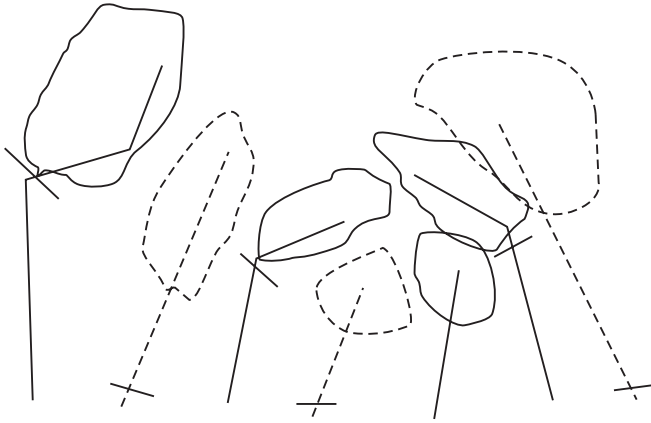


Рис. 1. Заросли *Acer negundo* из изогнутых и наклоненных деревьев.
Сплошной линией изображены мужские растения, пунктиром – женские.
Линии, перпендикулярные стволу, – места, рекомендуемые для обрезки и вырубки

Fig. 1. Box elder thickets with bent and inclined trees.

The solid line depicts male plants, dotted line – female plants. Lines perpendicular to trunks are places recommended for trimming and cutting

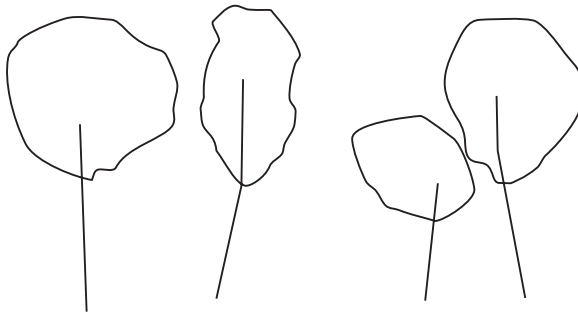


Рис. 2. Заросли после удаления женских растений и обрезки мужских

Fig. 2. Thickets after removal of female plants and trimming male ones

В заключении хотелось еще раз отметить, что ухудшение экологической ситуации в Москве требует разработки научно-обоснованного индивидуального подхода ко всем древесным породам, используемым

в озеленении города. Однако следует помнить, что возможности даже самых толерантных к негативным условиям городской среды древесных пород не безграничны.

Библиографический список / References

1. Адвентивная флора Москвы и Московской области / Майоров С.Р., Бочкин В.Д., Насимович Ю.А., Щербачев А.В. М., 2012. [Maiorov S.R., Bochkin V.D., Nasimovich Yu.A., Shcherbakov A.V. Adventivnaya flora Moskvy i Moskovskoi oblasti [Adventitious flora of Moscow and of the Moscow Region]. Moscow, 2012.]
2. Антонова И.С., Гниловская А.А. Побеговые системы кроны *Acer negundo* L. (Aceraceae) в разных возрастных состояниях // Ботанический журнал. 2013. Т. 98. № 1. С. 53–68. [Antonova I.S., Gnilovskaya A.A. Shoot systems of *Acer Negundo* L. crown in different age stages. *Botanicheskiy Zhurnal*. 2013. Vol. 98. № 1. Pp. 53–68.]
3. Виноградова Ю.К. Формирование вторичного ареала и изменчивость инвазионных популяций клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) // Бюллетень Гл. ботанического сада, 2006. Вып. 190. С. 25–47. [Vinogradova Yu.K. Forming of the secondary range and variation of the Box Elder Maple (*Acer negundo* L.) invasive populations. *Bulletin Main Botanical Garden*. 2006. Vol. 190. Pp. 25–47.]
4. Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Черная книга флоры Средней России: чужеродные виды растений в экосистемах Средней России. М., 2010. [Vinogradova Yu.K., Maiorov S.R., Khorun L.V. Chernaya kniga flory Srednei Rossii: chuzherodnye vidy rastenii v ekosistemakh Srednei Rossii [Black book of flora of Central Russia. Alien species in ecosystems of Central Russia]. Moscow, 2010.]
5. Диагностические признаки основных вредителей и болезней древесных и кустарниковых видов растений, контроль их развития с использованием материалов мониторинга состояния зеленых насаждений города Москвы / Мухина Л.Н. и др. М., 2006. [Mukhina L.N., Egorova A.V., Seraya L.G. et al. Diagnosticheskie priznaki osnovnykh vreditel' i boleznei drevesnykh i kustarnikovykh vidov rastenii, kontrol' ikh razvitiya s ispol'zovaniem materialov monitoringa sostoyaniya zelenykh nasazhdenii goroda Moskvy [Diagnostic signs of the main diseases and plant pests on woody and frutescent plants and its spreading control by applying the monitoring data of the Moscow urban plantings]. Moscow, 2006.]
6. Жуков Р.С., Ломоносова Л.М. Клен ясенелистный в городских лесах Москвы // Научное обозрение. Биологические науки. 2016. № 3. С. 49–50. [Zhukov R.S., Lomonosova L.M. The ash-leaved maple in urban forests of Moscow. *Scientific review. Biological sciences*. 2016. № 3. Pp. 49–50.]
7. Игнатов М.С., Макаров В.В., Чичев А.В. Конспект флоры адвентивных растений Московской области // Флористические исследования в Московской области. М., 1990. С. 5–105. [Ignatov M.S., Makarov V.V., Chichev A.V. Summary of the adventitious plants flora of the Moscow Region. *Floristicheskie issledovaniya v Moskovskoi oblasti*. Moscow, 1990. Pp. 5–105.]
8. К вопросу о вторжении клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) в подмосковные леса / Костина М.В., Ясинская О.И., Барбаншикова Н.С., Орлюк Ф.А. // Российский журнал биологических инвазий. 2015. Т. 8. № 4. С. 74–79. [Kostina M.V., Yasinskaya O.I., Barabanshchikova N.S., Orlyuk F.A. Toward a issue of Box Elder

(*Acer negundo* L.) Invasion into the Forests around Moscow. *Russian Journal of Biological Invasions*. 2015. Т. 8. № 4. Pp. 74–79.]

9. Казанский В.Д. Спящие почки и их роли в порослевом возобновлении клена ясенелистного // Лесоведение. 1973. № 1. С. 71–77. [Kazanskii V.D. Dormant buds and their significance for the regrowth of Box Elder Maple (*Acer negundo* L.). *Russian Forest Sciences*. 1973. № 1. Pp. 71–77.]

10. Копылов Д.А. Влияние зеленых насаждений на изменчивость факторов городской среды // NovaInfo.Ru. 2017. № 62. Т. 2. С. 75–87. [Kopylov D.A. Influence of urban plantings on the variation of the urban environment factors. *NovaInfo.Ru*. 2017. № 62. Vol. 2. Pp. 75–87.]

11. Королев В.А., Соколов В.Н., Самарин Е.Н. Оценка эколого-геологических последствий применения противогололедных реагентов в г. Москве // Инженерная геология. 2009. № 1. С. 34–43. [Korolev V.A., Sokolov V.N., Samarin E.N. Evaluation of environmental and geological implications for the deicing agent use in Moscow. *Inzhenernaya geologiya*. 2009. № 1. Pp. 34–43.]

12. Костина М.В., Барабанщикова Н.С., Ясинская О.И. Изучение кроны клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) с позиций концепции архитектурных моделей и реитерации // Вестник Удмуртского университета. Серия: Биология. Науки о Земле. 2016. Вып. 4. С. 32–42. [Kostina M.V., Barabanshchikova N.S., Yasinskaya O.I. The crown structure of *Acer negundo* L. as viewed from the standpoint of the concept of architectural models and reiteration. *Bulletin of Udmurt University. Series: Biology. Earth Sciences*. 2016. Vol. 4. Pp. 32–42.]

13. Костина М.В., Минькова Н.О., Ясинская О.И. О биологии клена ясенелистного в зеленых насаждениях Москвы // Российский журнал биологических инвазий. 2013. № 4. С. 32–43. [Kostina M.V., Min'kova N.O., Yasinskaya O.I. Some Biological Features of *Acer negundo* L. in Green Plantations of Moscow. *Russian Journal of Biological Invasions*. 2013. № 4. Pp. 32–43.]

14. Кузьмичев Е.П., Белова Н.К. Графиоз и ильмовые заболонники в городских насаждениях // Научные труды МЛТИ. Вып. 167. М., 1985. С. 157–160. [Kuz'michev E.P., Belova N.K. Dutch elm disease (DED) and Elm Bark Beetles within urban plants. *Nauchnye trudy MLTI*. Vol. 167. Moscow, 1985. Pp. 157–160.]

15. Кузьмичев Е.П., Соколова Э.С., Мозолевская Е.Г. Болезни и вредители в лесах России. Т. 1. Болезни древесных растений. М., 2004. [Kuz'michev E.P., Sokolova E.S., Mozolevskaya E.G. Bolezni i vrediteli v lesakh Rossii [Diseases and plant pests in forests of Russia]. Т. 1. Bolezni drevesnykh rastenii [Diseases of woody plants]. Moscow, 2004.]

16. Майтулина Ю.К. О морфологии и прорастании семян клена ясенелистного из различных географических пунктов // Бюллетень Гл. ботанического сада. 1980. Вып. 117. С. 85–89. [Maitulina Yu.K. On morphology and seed germination of box elder maple (*Acer negundo* L.) from different locations. *Bulletin Main Botanical Garden*. 1980. Vol. 117. Pp. 85–89.]

17. Мозолевская Е.Г. Ясеневая изумрудная златка (*Agrilus planipennis* Fairmaire) в Москве // Достижения энтомологии на службе агропромышленного комплекса, лесного хозяйства и медицины: Тезисы докладов XIII съезда Русского энтомологического общества, Краснодар, 9–15 сентября 2007 г. Краснодар, 2007. С. 137–138. [Mozolevskaya E.G. Emerald ash borer (*Agrilus planipennis* Fairmaire) in Moscow. *Dostizheniya entomologii na sluzhbe agropromyshlennogo kompleksa, lesnogo khozyaistva i meditsiny*. Abstracts of the XIII Congress

of the Russian Entomological Society, Krasnodar, 9–15 September, 2007. Krasnodar, 2007. Pp. 137–138.]

18. Попова О.В., Попов В.П., Харахонова Г.У. Древесные растения лесных, защитных, зеленых насаждений: Учебное пособие. СПб., 2010. [Popova O.V., Popov V.P., Kharakhonova G.U. Drevesnye rasteniya lesnykh, zashchitnykh, zelenykh nasazhdenii [Woody plants of forest, protective, amenity stands]. St. Petersburg, 2010.]

19. Пчелин В.И. Дендрология: Учебник. Йошкар-Ола, 2007. [Pchelin V.I. Dendrologiya [Dendrology]. Yoshkar-Ola, 2007.]

20. Семёнова Л.В. Современные проблемы благоустройства городской среды // *NovaInfo.Ru*. 2017. № 63. Т. 1. С. 99–110. [Semenova L.V. Current Issues of the urban landscaping. *NovaInfo.Ru*. 2017. № 63. Vol. 1. Pp. 99–110.]

21. Соколова Э.С., Кузьмичев Е.П. Инфекционное усыхание липы // Защита растений. 1988. № 2. С. 28–30. [Sokolova E.S., Kuzmichev E.P. Thyrostroma Compactum Sacc. *Zashchita rastenii*. 1988. № 2. Pp. 28–30.]

22. Теодоронский В.С., Жеребцова Г.П. Озеленение населенных мест. Градостроительные основы: Учеб. пособие для студ. учреждений высш. проф. образования. М., 2010. [Teodoronskii V.S., Zherebtsova G.P. Ozelenenie naseleennykh mest. Gradostroitel'nye osnovy [Urban planting. Basic Principles of urban planning]. Moscow, 2010.]

23. «Black»-лист инвазивных видов России / Виноградова Ю.К. и др. // Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов: Материалы IV Международной конференции. Кемерово, 2015. С. 68–73. [Vinogradova Yu.K. et al. Black Book of the Invasive Species in Russia. *Problemy promyshlennoi botaniki industrial'no razvitykh regionov*. Kemerovo, 2015. Pp. 68–73.]

24. Kostina M.V. et al. Structural Modifications of Birch (*Betula pendula* Roth.) Crown in Relation to Environmental Conditions. *Contemporary Problems of Ecology*. 2015. Vol. 8. № 5. Pp. 584–597.

Статья поступила в редакцию 21.05.2017.

The article was received on 21.05.2017.

Костина Марина Викторовна – доктор биологических наук, доцент; профессор кафедры ботаники Института биологии и химии, Московский педагогический государственный университет

Kostina Marina V. – Dr. Biol. Hab.; Professor of Department of Botany of Institute of Biology and Chemistry, Moscow State University of Education, Russian Federation

E-mail: mkostina@list.ru

Ясинская Оксана Игоревна – аспирант кафедры ботаники Института биологии и химии, Московский педагогический государственный университет

Yasinskaya Oksana I. – Post-graduate Student of Department of Botany of Institute of Biology and Chemistry, Moscow State University of Education, Russian Federation

E-mail: yasinka@land.ru

Барабанщикова Наталья Сергеевна – кандидат биологических наук; доцент кафедры ботаники Института биологии и химии, Московский педагогический государственный университет

Barabanshchikova Natalya S. – PhD in Biology; Associate Professor of Department of Botany of Institute of Biology and Chemistry, Moscow State University of Education, Russian Federation

E-mail: baraba@list.ru

Е.А. Шишконокова

Почвенный институт им. В.В. Докучаева,
119017 г. Москва, Российская Федерация

Антропогенная растительность территорий предприятий ОАО «Уралкалий» (Пермская область)¹

Техногенное засоление ландшафтов таежной зоны в настоящее время является сложной и актуальной проблемой. Сбор материалов о характере и особенностях этого явления на различных технологических объектах позволяет выявить закономерности формирования растительности на почвах различного химизма засоления. Представлены результаты геоботанического обследования технологических объектов на территориях предприятий по производству калийных удобрений (Пермский край). Показано, что засоление галитовыми отходами приводит к замещению элементов естественной флоры на фоне формирования специфических группировок растительности с доминированием галофитов и рудеральных видов. Впервые для местообитаний на территории предприятия ОАО «Уралкалий» приводятся данные по мохообразным и лишайникам.

Ключевые слова: производство калийных удобрений, Пермский край, техногенное засоление почв, индикаторы засоления почв, галофиты.

¹ Особую благодарность автор выражает сотрудникам МГУ им. М.В. Ломоносова Е.А. Игнатовой (определение мхов), Т.Ю. Толпышевой (определение лишайников), А.П. Сухорукову (определение ряда видов семейства Chenopodiaceae).

E.A. ShishkonakovaV.V. Dokuchaev Soil Science Institute,
Moscow, 119017, Russian Federation

Anthropogenic vegetation in the area of the enterprise "Uralkaliy" (Perm region, Russia)²

Technogenic salinization in landscapes of the taiga zone is currently a complicated and important problem. Collection of materials about the nature and characteristics of this phenomenon on various technological objects makes it possible to reveal regularities of the vegetation formation on soils of various salinization chemistry. The results of vegetation survey in the area of potash fertilizers production enterprise (Perm region) are presented. It is shown that the salinity causes substitution of native flora elements whereas specific plant communities with the dominance of halophytes and ruderal plants are formed. The data on bryophytes and lichens are provided for the first time for the territory of the enterprise "Uralkaliy".

Key words: potash fertilizers production, Perm region, technogenic salinization of soils, plant indicators of salinity, halophytes.

Техногенное воздействие на ландшафты таежной зоны России вызывает особенно глубокие их преобразования на территориях функционирования предприятий добывающей отрасли, поскольку помимо непосредственного загрязнения почвенно-растительного покрова и водоемов, оно связано также с масштабными трансформацией рельефа и почвообразующих пород, возникновением специфических антропогенных почв, транзональными и локальными инвазиями растений.

Данная работа рассматривает изменение растительности в условиях одного из наиболее сильных и долговременных воздействий, связанного с добычей и переработкой хлоридосодержащей породы, используемой для получения калийных удобрений в Пермской области (на предприятиях ОАО «Уралкалий»). Прогрессирующий рост площади соленосных пород и почв создает на значительном пространстве эдафическую

² The author expresses special gratitude to Lomonosov Moscow State University staff: E. Ignatova (differentiation of mosses), T. Tolpysheva (differentiation of lichens) and A. Sukhorukov (differentiation of a number of species Chenopodiaceae).

среду, совершенно не свойственную видам местной флоры, что, разумеется, сказывается на характере растительности. В литературе, однако, до сих пор отсутствуют систематизированные сведения о закономерностях преобразований растительности при различных формах засоления, а также приуроченности видов к многообразным объектам производственной инфраструктуры.

Прежде всего, определенное освещение получил ряд аспектов, характеризующих природу и размах геохимических процессов, протекающих на техногенно измененных участках. Во многих работах подчеркивается, что сухие галитовые отходы, состоящие из NaCl (94,6%), KCl (3,1%) и нерастворимого в воде остатка (2,3%) [Демидова, Лихарева, Лапшина, 2008] вместе с жидкими солеотходами обуславливают засоление почв, подземных и поверхностных вод [Шубин, 2005; Белкин, 2008; Бабошко, Бачурин, 2009; Хайрулина, 2015].

В частности, А.А. Шубиным обращалось внимание на возникновение оконтуривающих терриконы зон засоления, вытянутых в направлении движения рассольных вод, в то время как отстойники дождевых вод наряду с питающими их ручьями служат источниками загрязнения грунтовых вод [Шубин, 2005]. Вместе с тем, инфильтрация засоленных вод через тело солеотвалов приводит к формированию значительных по площади лито- и гидрохимических ореолов загрязнения, влекущих за собой, в свою очередь, как интенсификацию почвенной эрозии, так и угнетение растительного покрова [Демина, Стриженко, 2015]. Многообразии воздействий отложений солеотвала отмечено Е.А. Хайрулиной. Согласно приведенным ею данным, солеотвалы также являются источниками загрязнения атмосферы – ежегодно с терриконов сдувается около 3,6 млн т вещества [Хайрулина, 2009]. А.Ю. Бабошко и Б.А. Бачуриным указывалось на связь между высокой степенью хлоридного засоления гидросферы и сверхнормативными концентрациями тяжелых металлов, содержание которых особенно резко возрастает в шламохранилищах [Бабошко, Бачурин, 2015]. Согласно Е.А. Хайрулиной, важнейшим процессом на исследуемой территории является техногенный галогенез, в ходе которого в районе воздействия солеотвалов, шламохранилищ и рассолосборников гидрокарбонатно-кальциевая фация поверхностных вод сменяется на хлоридно-натриевую [Хайрулина, 2009]. Соответственно, в долинах рек, примыкающих к территории предприятия и к местам выхода высокоминерализованных вод на поверхность, формируются очаги почвенного засоления.

Сведения о растительности, сформировавшейся на промышленных площадках предприятий ОАО «Уралкалий», носят фрагментарный

характер. В последнее десятилетие были проведены исследования, посвященные изучению влияния засоления на бактерии, обитающие в ризосфере доминирующих, по наблюдениям авторов, в районе солеотвалов видов: *Puccinellia distans* (Jacq.) Parl. (бескильница расставленная), *Chenopodium rubrum* L. (марь красная) [Корсакова, Пьянкова, Назаров, 2013; Корсакова и др., 2014]. Специфика обмена веществ таких видов, как *Melilotus officinalis* (L.) Pall. (донник лекарственный), *Taraxacum ostenfeldii* Raunk. (одуванчик Остенфельда), *Tussilago farfara* L. (мать-и-мачеха) и *Lactuca tatarica* (L.) С.А. Меу. (латук татарский), изучалась на участках различного уровня засоления [Кусакина, Ерёмченко, Четина, 2011]. М.И. Демидовой с соавторами исследовалось влияние галитовых отходов БКПРУ-3 на почву и растительность в ходе модельного опыта [Демидова, Лихарева, Лапшина, 2008]. Было рассмотрено влияние ряда показателей на биохимические и морфологические характеристики растений, что, по мнению авторов работы, может служить значимыми биоиндикационными показателями. По их наблюдениям, окрестности солеотвала заняты луговыми фитоценозами, доминантами которых выступают *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth (вейник наземный) и *Dactylis glomerata* L. (ежа сборная). Солевой стресс сопровождается гибелью типичных таежных растений, замещаемых солеустойчивыми сорно-рудеральными видами и галофитами [Хайрулина, 2015]. В числе последних авторы упоминают *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. (тростник обыкновенный) и *Chenopodium glaucum* L. (марь сизую). Кроме того, Е.А. Хайрулиной с соавторами в Пермском крае вдоль высокоминерализованного потока были отмечены сообщества с участием галофита *Salicornia perennans* Willd. (солероса солончакового) [Хайрулина, Новоселова, Порошина, 2017].

Наиболее полно растительность, сформировавшаяся вокруг галитовых терриконов ОАО «Уралкалий», описана в монографии О.З. Ерёмченко с соавторами. В ней приводятся виды, поселявшиеся в течение пяти лет вокруг солеотвалов СКРУ-1, СКРУ-2 и БКПРУ-1. Так, растительные сообщества зоны устойчивого засоления (1–5 м от солеотвала) характеризовались низкими проективным покрытием (не более 10–30%) и видовым разнообразием. Характерными видами являлись *Lactuca tatarica*, *Chenopodium glaucum*, *Puccinellia distans*, *Calamagrostis epigeios*, *Taraxacum* sp., *Tussilago farfara*. Также отмечались злаки *Elytrigia repens* (L.) Nevski (пырей ползучий), *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub (кострец безостый), *Poa pratensis* L. (мятлик луговой), другие маревые (*Atriplex calotheca* (Rafn) Fr. (лебеда красивоплодная), *A. patula* L. (лебеда раскидистая)) и представители разнотравья (*Artemisia vulgaris* L.

(полынь обыкновенная), *Leucanthemum vulgare* Lam. (нивяник обыкновенный), *Melilotus albus* Medikus (донник белый), *Polygonum aviculare* L. (спорыш птичий)). В числе произрастающих в данных местах видов авторы выделяют растения солонцовых и солончаковых экосистем лесостепного Зауралья, обладающие эффективными механизмами солеустойчивости: *Puccinellia distans*, *Lactuca tatarica*, *Chenopodium glaucum*, *Atriplex patula*, *Calamagrostis epigeios*. Для зоны неустойчивого засоления, располагающейся на расстоянии 5–90 м от солеотвала, были характерны рудеральные сообщества с преобладанием многолетних злаков (*Calamagrostis epigeios*, *Bromopsis inermis*, *Elytrigia repens*, *Phleum pratense* L. (timoфеевки луговой)) и элементов разнотравья (*Lathyrus pratensis* L. (чины луговой), *Leucanthemum vulgare*, *Melilotus albus*, *Trifolium repens* L. (клевера ползучего) и др.); проективное покрытие таких участков составляло 100% [Ерёмченко и др., 2013].

Таким образом, согласно существующим источникам, на рассматриваемой территории представлены сообщества синантропных видов растений. Говоря в целом о влиянии техногенного засоления на растительность таежной зоны, необходимо подчеркнуть, что оно представляет собой один из факторов прогрессирующей эвтрофикации, наблюдаемой в настоящее время в различных регионах России [Аветов, Шишконокова, 2013; Seregin, 2014].

В вышеотмеченных работах основное внимание, однако, было сосредоточено на зонах, непосредственно примыкающих к терриконам с галитовыми отходами, в то время как разнообразие промышленных объектов на территории предприятия обуславливает формирование более широкого спектра растительных группировок. Кроме того, во всех ранее рассмотренных работах приводятся сведения исключительно о сосудистых растениях, несмотря на присутствие мохообразных и лишайников на ряде трансформированных участков.

Объекты и методы

В ходе полевых работ 2014 г. были проведены геоботанические исследования на территориях четырех предприятий ОАО «Уралкалий» – БКПРУ-2, БКПРУ-3, БКПРУ-4, СКПРУ-2, расположенных в пределах Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей в центральной части Пермского края на левобережье р. Кама в городах Березники и Соликамск. Верхнекамское месторождение является одним из крупнейших, старейших и, в то же время, одним из самых нарушенных в нашей стране, как по глубине техногенных преобразований, так и охваченному пространству.

Целью настоящей работы является выявление закономерностей проявления техногенеза в формировании растительности участков таежной зоны, нарушенных в ходе добычи и переработки хлоридосодержащих (галитовых) пород.

Описания растительности проводились по градиенту удаленности от солеотвалов:

- 0–5 м, 50–70 м, 100–120 м, 400–500 м (для территорий БКПРУ-4, БКПРУ-2);
- 0–5 м, 33 м, более 1000 м (для территории СКПРУ-2).

Для определения зональных аналогов растительных сообществ на наиболее отдаленных из указанных точек были обследованы фоновые или условно фоновые сообщества. Также проводились описания растительности на технологических объектах предприятий – шламохранилищах и отстойниках дождевых вод. Кроме того, были обследованы поймы рек Быгель, Лёнва, Поповка в местах выпуска дренажных вод.

На всех заложенных площадках выполнялись описания видового состава с определением обилия и скученности видов, определялись сомкнутость древостоя (при его наличии), диаметр деревьев, их высота, характеристики кустарникового яруса, проективное покрытие для травяного/травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов.

Результаты и обсуждение

Согласно ботанико-географическому районированию Пермской области [Овеснов, 1997], г. Соликамск располагается на юге района средне-таежных пихтово-еловых лесов, а г. Березники и примыкающие к нему территории относятся к району южнотаежных пихтово-еловых лесов. В настоящее время территории, прилегающие к объектам предприятия, занимают производные мелколиственные леса с примесью хвойных пород, участки условно-коренных лесов, вторичные суходольные луга.

Характер растительности, сформировавшейся на территориях предприятий ОАО «Уралкалий», в значительной степени предопределяется многообразием природно-антропогенных факторов: субстратом, неоднородностью мезорельефа, расстоянием от солеотвала, возможностью попадания с него галитовых отходов или засоленных вод, степенью механической нарушенности, приуроченностью к отдельным технологическим объектам (отстойникам дождевых вод, технологическим дренажным канавам и т.п.), особенностями заноса диаспор растений и пр.

Импактные зоны представляют собой площадки, находящиеся непосредственно у подножия солеотвалов (на расстоянии от 0 до 5 м). Почвы техногенно нарушенные, перемешанные с галитовыми отходами

из терриконов и местами – щебнем. Ранее произраставшая древесная и травяная растительность выпала. Формирующийся напочвенный покров в импактных зонах сильно разрежен (ОПП от 2 до 15%) и преимущественно локализован в отдельных пятнах. Пионерные группировки характеризуются сочетанием рудеральных видов и галофитов. Доля последних велика и составляет не менее 10–15% (а на части участков и более) от общего списка произрастающих на площадках видов. Среди галофитов отмечены виды рода *Atriplex* (в частности, *Atriplex prostrata* Boucher ex DC (лебеда простертая)), *Chenopodium rubrum* L., *Hordeum jubatum* L. (ячмень гривастый), *Puccinellia hauptiana* V. Krecz. (бескильница Гаупта), *Spergularia marina* (L.) Griseb. (торичник морской), *Suaeda acuminata* (С.А. Меу.) Моq. (сведа заостренная).

В то же время в составе рудеральных элементов преобладают солеустойчивые растения: *Calamagrostis epigeios*, *Matricaria discoidea* DC. (ромашка безъязычковая), *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip. (трехреберник запахучий), *Chenopodium album* L. (марь белая), *Lactuca tatarica*, *Melilotus albus*, *Plantago major* L. (подорожник большой). Моховой покров в импактных зонах отсутствует или отмечается в виде отдельных мелких пятен, приуроченных к микроповышениям (ОПП 1–5%). Так как мхов-галофитов не существует, то на подобных участках обычно поселяются пионерные виды главным образом из рода *Bryum*, выступающие в качестве индикаторов пятен незасоленного или рассоляющегося грунта. На территории БКПРУ-2 в импактной зоне отмечен *Bryum violaceum* A.C. Crundwell & Nyholm (первая находка данного вида для Пермского края), у подножия солеотвала СКПРУ-2 – *Barbula unguiculata* Hedw., *Bryum argenteum* Hedw., *B. caespiticium* Hedw.

Площадки в *буферных зонах* расположены вниз по склону от отвалов. По сравнению с площадками импактных зон они более разнообразны по составу растительности и проективному покрытию.

Так, в буферной зоне на территории БКПРУ-4 на площадке в 65 м от подножия солеотвала зарастание происходит сравнительно медленно (ОПП 5–7%) из-за высокой степени механической нарушенности и стекания по расположенной здесь ложбине атмосферных вод с отвала. Часть площадки практически лишена растительности (сохраняются лишь единичные экземпляры галофитов – *Atriplex prostrata*, *Chenopodium rubrum*, *Puccinellia hauptiana*), местами на почве отмечены солевые выцветы. В то же время мало затронутые нарушениями окраинные сегменты площадки восстанавливаются активнее. В их зарастании главную роль играют рудеральные виды (*Tripleurospermum inodorum*, *Epilobium adenocaulon* Hausskn. (кипрей железистостебельный),

Polygonum aviculare, *Tussilago farfara*), луговые (*Alchemilla* sp. (манжетка), *Dactylis glomerata*, *Galium mollugo* L. (подмаренник мягкий), *Leucanthemum vulgare*, *Vicia cracca* L. (горошек мышиный), *Trifolium repens*) и лесные (*Angelica sylvestris* L. (дудник лесной)). Моховой покров из *Amblystegium serpens* (Hedw.) Bruch et al. и *Brachythecium salebrosum* (Web. et Mohr) Bruch et al. представлен единичными латками на отдельных микроповышениях.

Площадки, заложенные от террикона ниже по стоку на территории БКПРУ-2, БКПРУ-4 в градиенте удаления 52–127 м, также относятся к буферной зоне. Они характеризуется лишь небольшой механической нарушенностью. На поверхности почвы не отмечено выцветов солей и фрагментов галитовых отходов. Здесь появляется подрост мелколиственных пород (*Salix caprea* L. (ива козья), *Populus suaveolens* Fisch. (тополь душистый), *P. tremula* L. (осина)), а на наиболее отдаленных сегментах – кустарники (*Salix cinerea* L. (ива пепельная)). Проективное покрытие травяного яруса варьирует в диапазоне 20–60%. На сухих крутых склонах доминируют солевьносливые *Juncus tenuis* Willd. (ситник тонкий) и *Calamagrostis epigeios*. На более пологих участках преобладают луговые травы (*Lathyrus pratensis*, *Trifolium hybridum* L. (клевер гибридный), *T. pratense* L. (клевер луговой)), лугово-опушечные (*Ajuga reptans* L. (живучка ползучая), *Prunella vulgaris* L. (черноголовка обыкновенная), *Veronica chamaedrys* L. (вероника дубравная)) элементы. Роль рудеральных элементов по сравнению с импактной зоной существенно понижается при полном отсутствии галофитов. Моховой ярус хорошо выражен (его проективное покрытие от 30 до 90%) и представлен широким спектром видов, в первую очередь чутко реагирующих на степень увлажнения и трофность субстрата: *Amblystegium serpens*, *Barbula unguiculata*, *Brachythecium mildeanum* (Schimp.) Schimp., *B. salebrosum*, *Calliergonella lindbergii* (Mitt.) Hedenäs, *Drepanocladus aduncus* (Hedw.) Warnst., *Rhytidiadelphus triquetrus* (Hedw.) Warnst., *Sanionia uncinata* (Hedw.) Loeske., на более засушливых склонах доминируют *Brachythecium salebrosum*, *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid., *Polytrichum juniperinum* Hedw.

Буферная зона на территории СКПРУ-2 представлена площадкой на расстоянии 33 м от отвала на сравнительно крутом склоне. Центральная часть ее размыва водами с селеотвала и представляет собой небольшую углубляющуюся потяжину. В ее наиболее эродированной части отмечен оголенный грунт супесчаного состава, а по периферии она зарастает немногочисленными экземплярами галофитов – *Spergularia salina* и *Puccinellia* sp. На микроповышениях, примыкающих к бортам

потяжины, поселились сравнительно солеустойчивые *Artemisia absinthium* L. (полынь горькая), *Atriplex* sp., *Calamagrostis epigeios*, *Melilotus albus*. Неэродированная склоновая часть вне ложбины стока зарастает рудеральными и луговыми видами – *Calamagrostis epigeios* и *Juncus tenuis*. Отмечены единичные экземпляры галофитов *Atriplex* sp. и *Puccinellia Hauptiana*. Проективное покрытие на площадке невелико – 10–15%, что связано с сухостью условий местообитания. Мохово-лишайниковый покров из отдельных латок занимает до 10% площадки. Преобладают ксеро-мезофитные виды мхов (*Brachythecium salebrosum*, *Bryum caespiticium*, *Dicranum scoparium* Hedw., *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt.), и лишайники (*Cladonia cenotea* (Ach.) Schaer., *C. chlorophaea* (Flörke ex Sommerf.) Spreng., *C. coniocraea* (Flörke) Spreng., *C. fimbriata* (L.) Fr.).

В ходе проведенных полевых работ были описаны площадки, примыкающие к специфическим по своим функциям объектам предприятий.

В частности, нами были обследованы береговые линии *участков отстойников дождевых вод* на территориях БКПРУ-4 и БКПРУ-2. Судя по составу растений, почвам окрестностей отстойников присуще засоление. Если примыкающая к литорали растительность на участке БКПРУ-4 вне ложбины стока солеотвала представлена типичными видами водно-болотных местообитаний – гидрофитами (*Pericaria amphibia* (L.) Delarbre (горцем земноводным)), гидрофитами (*Carex vesicaria* L. (осоккой пузырчатой), *Eleocharis palustris* (L.) Roem. & Schult. (болотницей болотной), *Naumburgia thyrsiflora* (L.) Reichenb. (кизляком кистецветным)), мезо-гидрофитами (*Phalaroides arundinacea* (L.) Rausch. (двукисточником тростниковидным)), то в пределах ложбины стока, по которой воды с солеотвала стекают в отстойник, отмечаются солелюбивые виды и галофиты – *Alisma gramineum* Lej. (частуха злаковая), *Atriplex patula*, *Chenopodium rubrum*, *Puccinellia Hauptiana*, *Spergularia salina*. Последний вид наиболее распространен по береговой линии солеотстойника БКПРУ-2. На более дренированной части берега данного солеотстойника отмечены галотолерантные виды (*Lactuca tatarica*, *Melilotus albus*, *Rumex crispus* L. (щавель курчавый) и галофиты (*Atriplex* sp., *Puccinellia Hauptiana*).

Обследованные *берега шламохранилищ* характеризуются проективным покрытием травяного яруса от 15–20 до 25–30%. Небольшое проективное покрытие во многом обусловлено частичной отсыпкой участков щебнем. Участки проходят лугово-рудеральную и луговую стадии зарастания.

Берег шламохранилища БКПРУ-2 выкашивается. Подобные мероприятия не позволяют развиваться подросту мелколиственных пород,

который здесь активно поселяется. По периферии карты шламохранилища отмечено преобладание луговых видов. К ним примешиваются рудеральные, немногочисленные опушечные и лесные виды (*Prunella vulgaris*, *Fragaria vesca* L. (земляника лесная)). Галофитов на площадке нет, отмечено небольшое количество галотолерантных трав (*Calamagrostis epigeios*, *Melilotus albus*). Моховой ярус с ОПП 10–15% образован *Brachythecium salebrosum*, *Didymodon fallax* (Hedw.) R.H. Zander, *Plagiomnium cuspidatum* (Hedw.) T.J. Кор.

На берегу шламохранилища БКПРУ-3 преобладают рудеральные виды, в прибрежной полосе отмечена небольшая доля галофитов (*Puccinellia hauptiana*, *Atriplex patens* (Litv.) Iljin (лебеда отклоненная)), а также солелюбивых видов (*Lactuca tatarica*, *Melilotus albus*, *Calamagrostis epigeios*). Мхи (*Funaria hygrometrica* Hedw.) представлены в виде отдельных пятен.

Береговая линия карт шламохранилищ СКПРУ-2 также зарастает преимущественно луговыми и рудеральными видами трав с небольшой примесью галофитов. Участки характеризуются значительным развитием мохово-лишайникового яруса (ОПП 80%). В зарастании участвуют как типичные лесные виды, так и мхи-пионеры, характерные для широкого спектра нарушенных местообитаний: *Brachythecium albicans* (Hedw.) Bruch et al., *B. salebrosum*, *Bryum caespiticium*, *B. creberrimum* Taylor, *Calliergonella lindbergii*, *Ceratodon purpureus*, *Dicranum scoparium* Hedw., *Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al., *Lophozia* sp., *Pleurozium schreberi*, *Rhytidiadelphus triquetrus*. Велика доля лишайников, среди которых доминируют *Cladonia chlorophaea*, *C. coniocraea*, *C. cornuta* (L.) Hoffm., *C. fimbriata* (L.) Fr., а примесь образуют *C. mitis* Sandst., *Peltigera rufescens* (Weiss) Humb., *P. kristinssonii* Vitik.

Обследованные участки выпуска дренажных вод с территорий предприятий отличаются различной степенью засоления. На участке р. Быгель (выпуск вод № 3, БКПРУ-4) отмечена преимущественно типичная пойменная и лесная растительность с небольшой долей рудеральных элементов. Галофитов не обнаружено.

Обследованная территория поймы реки Лёны за пределами зоны воздействия предприятия и участков выпуска вод характеризуется естественным выклиниванием засоленных вод в притеррасной части и на низкой террасе, ранее покрытой хвойно-мелколиственным лесом. Развитие этого явления приводит к гибели нативной древесной растительности, трав, кустарничков и мхов. Значительная площадь в этой части полностью лишена растительного покрова. На отдельных микроповышениях

с сохраняющейся растительностью происходит смена доминантов травяно-кустарничкового и мохового ярусов, среди поселившихся на засоленных участках видов отмечены *Atriplex prostrata*, *Calamagrostis epigeios*, *Festuca rubra* L. (овсяница красная). Редко на ряде сегментов сохраняются лишайники (*Cladonia carneola* (Fr.) Fr., *C. coniocraea*, *C. cornuta*, *C. rangiferina* (L.) F.H.Wigg.) и мхи (*Brachythecium salebrosum*, *Dicranum bonjeanii* De Not., *Lophocolea heterophylla* (Schrad.) Dumort., *Pleurozium schreberi*, *Sanionia uncinata*, *Sciuro-hypnum starkei* (Brid.) Ignatov & Huttunen).

Для участка прирусловой зоны Лёнвы в районе выклинивания засоленных вод характерна обычная пойменная растительность. Этому способствует, видимо, промыв почв в период паводка, в отличие от притеррасной поймы, для которой характерен застойный режим и, соответственно, накопление солей. В то же время вдоль береговой полосы растут отдельные экземпляры галофита *Atriplex prostrata*.

Участок поймы Лёнвы ниже выпуска вод шламохранилища БКПРУ-3 характеризуется выраженным засолением почв и ТПО. Территория поймы в этой части, по-видимому, была ранее механически нарушена, русло частично спланировано. Участок центральной поймы местами затоплен, осложнен невысокими гривами до 5–20 см высотой. Доминируют галофиты и солевыносливые травы широкого спектра по градиенту влажности (от мезофитных трав на микроповышениях до гигрофитов в подтопленных участках). Общее проективное покрытие травяного яруса 15–30%. Дренированные сегменты заняты *Festuca rubra*, *Elytrigia repens*, *Calamagrostis epigeios*, *Bromopsis inermis*, *Melilotus albus*, вниз по течению обширные заросли образует *Phragmites australis*. В подтопленных микропонижениях наблюдаются *Atriplex prostrata*, *Puccinellia hauptiana*, в наиболее обводненных – *Triglochin palustris* L. (триостреник болотный).

Прирусловье Лёнвы в месте выпуска вод шламохранилища БКПРУ-3 образуют сообщества как из типичных пойменных элементов (*Angelica archangelica* L. (дудник лекарственный), *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. (таволга вязолистная), *Phalaroides arundinacea*), так и солелюбивых трав (*Calamagrostis epigeios*, *Festuca rubra*, *Typha latifolia* L. (рогоз широколистный)) и галофитов (*Atriplex prostrata*, *Puccinellia hauptiana*, *Spercularia salina*).

Пойма реки Поповки в пределах территории предприятия характеризуется высокой степенью засоления почв и ТПО. Участок зарастает галофитами и солелюбивыми травами различных по градиенту

увлажнения экологических групп: *Atriplex patens*, *Calamagrostis epigeios*, *Hordeum jubatum*, *Juncus tenuis*, *Lactuca tatarica*, *Triglochin maritimum* L. (триостренник морской), *Puccinellia hauptiana*, *Spercularia salina*. Ниже по течению участка выпуска вод за пределами предприятия река Поповка сохраняет признаки засоления. Это подтверждается и составом видов, поселяющихся у уреза воды: *Juncus tenuis*, *Puccinellia hauptiana*, *Spercularia salina*, *Triglochin maritimum*.

Выводы

1. Импактные зоны отличает высокая степень нарушенности, связанная как с механическими воздействиями, так и высокой степенью засоленности. Здесь формируются разреженные пионерные рудеральные группировки с участием галофитов.

2. Анализ растительности буферных площадок, расположенных на расстоянии 30–65 м от терриконов, показывает, что солевое загрязнение концентрируется преимущественно в локальных ложбинах и на склонах. Растительность прилегающих к ним относительно выровненных участков испытывает влияние засоленных вод в меньшей мере. На удалении более 100–120 м (исключая ложбины стока) от терриконов влияние галитовых отходов на растительный покров практически не выражено.

3. Растительность береговых линий отстойников дождевых вод представлена преимущественно галофитами и солелюбивыми видами, что говорит о сильном засолении вод и почв этих объектов.

4. Условия для развития растительности на берегах карт шламохранилищ можно охарактеризовать как относительно благоприятные, хотя лимитирующим фактором роста выступает высокая каменистость. Небольшая доля галофитов и галотолерантных видов указывает на засоление прибрежной полосы.

5. Участки рек ниже по течению выпуска вод с технологических объектов предприятий отличаются различными степенями нарушенности растительного покрова. Существенных изменений в составе напочвенной растительности не отмечено у выпуска № 3 в реку Быгель. Участки ниже по течению от выпуска технологических вод в реки Лёнва и Поповка сильно засолены, их растительный покров коренным образом отличается от естественной растительности. В то же время в пойме р. Лёнва засоленность субстрата, связанная с поступлением природных засоленных вод, очевидно, усиливается за счет техногенной составляющей.

Библиографический список / References

1. Аветов Н.А., Шишконокова Е.А. Понятие трофности в связи с антропогенной эвтрофикацией верховых болот Ханты-Мансийского Приобья // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2013. № 71. С. 36–51. [Avetov N.A., Shishkonakova E.A. A concept of trophy status in connection with anthropogenic eutrophication of raised bogs in the Khanty-Mansy Pre-Ob region. *Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Science Institute*. 2013. № 71. Pp. 36–51.]
2. Бабошко А.Ю., Бачурин Б.А. Тяжелые металлы в отходах калийной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 5. С. 369–376. [Baboshko A.Yu., Bachurin B.A. Heavy metals in the waste potash industry. *Mining informational and analytical bulletin*. 2009. № 5. Pp. 369–376.]
3. Белкин В.В. Состояние геологической среды Верхнекамского соленосного бассейна // Разведка и охрана недр. 2008. № 8. С. 77–82. [Belkin V.V. The state of the geological environment of the Verkhnekamskiy salt-basin. *Prospect and protection of mineral resources*. 2008. № 8. Pp. 77–82.]
4. Демидова М.И., Лихарева Ю.Е., Лапшина В.К. Влияние галитовых отходов ОАО «Уралкалий» города Березники на почву и растительность // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2014. № 2 (14). С. 154–166. [Demidova M.I., Likhareva Yu.E., Lapshina V.K. The impact of halite waste of OJSC "Uralkali", Berezniki city, on soil and vegetation. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Applied ecology. Urban development*. 2014. № 2 (14). Pp. 154–166.]
5. Демина А.А., Стриженко А.В. Экологическая оценка воздействия солеотвалов ПАО «Уралкалий» на окружающую среду // Шаг в будущее: теоретические и прикладные исследования современной науки. Материалы XII международной научно-практической конференции. СПб., 2016. С. 34–38. [Demina A.A., Strizhenok A.V. Environmental assessment of the salt dumps impact in the area of OJSC "Uralkali". *Shag v budushchee: teoreticheskie i prikladnye issledovaniya sovremennoy nauki. Materialy XII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Sankt-Petersburg, 2016. Pp. 34–38.]
6. Техногенные поверхностные образования зоны солеотвалов и адаптация к ним растений / Ерёмченко О.З., Четина О.А., Кусакина М.Г., Шестаков И.Е. Пермь, 2013. [Eremchenko O.Z., Chetina O.A., Kusakina M.G., Shestakov I.E. *Tekhnogennyye poverkhnostnyye obrazovaniya zony soleotvalov i adaptatsiya k nim rasteniy* [Technogenic surface formations of a zone of salt dumps and plants adaptation for growing on them]. Perm, 2013.]
7. Корсакова Е.С., Пьянкова А.А., Назаров А.В. Филогенетическое разнообразие бактерий, выделенных из ризосферы мари красной (*Chenopodium rubrum* L.), произрастающей в условиях засоления на территории солеразработок (г. Соликамск, Пермский край) // Вестник Пермского университета. Биология. 2013. Вып. 3. С. 47–51. [Korsakova E.S., Pyankova A.A., Nazarov A.V. Phylogenetic diversity of bacteria isolated from the rhizosphere of swine's-bane (*Chenopodium rubrum* L.) growing in the saline conditions on sites of salt production (Solikamsk, Perm Krai). *Bulletin of Perm University. Biology*. 2013. Vol. 3. Pp. 47–51.]
8. Ризосферные бактерии, ассоциированные с растениями бескильницы расставленной (*Puccinellia distans* (Jacq.) Parl.), произрастающими на территории

солеразработок / Корсакова Е.С., Пьянкова А.А., Гагарских О.Н., Назаров А.В. // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2014. № 3. С. 1–5. [Korsakova E.S., Pyankova A.A., Gagarskikh O.N., Nazarov A.V. Rhizosphere bacteria associated with weeping alkaligrass (*Puccinellia distans* (Jacq.) Parl.), growing on sites of salt production. *Bulletin of the Orenburg Scientific Center, Ural Branch, Russian Academy of Science*. 2014. № 3. Pp. 1–5.]

9. Кусакина М.Г., Ерёмченко О.З., Четина О.А. Влияние разного уровня техногенного засоления на некоторые показатели обмена веществ растений // Вестник Пермского университета. Биология. 2011. Вып. 1. С. 73–77. [Kusakina M.G., Eremchenko O.Z., Chetina O.A. The influence of different levels of anthropogenic salinity on some indicators of plants metabolism. *Bulletin of Perm University. Biology*. 2011. Vol. 1. Pp. 73–77.]

10. Овеснов С.А. Конспект флоры Пермской области. Пермь, 1997. [Ovesnov S.A. Konspekt flory Permskoy oblasti [Synopsis of flora of the Perm region]. Perm, 1997.]

11. Хайрулина Е.А. Ландшафтно-геохимические процессы в районе разработки Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (Пермский край) // География и регион. Материалы международной научно-практической конференции. Пермский государственный университет. Пермь, 2015. С. 157–163. [Hairulina E.A. Landscape-geochemical processes in the area of development of the Verkhnekamskoe potash-magnesium salts Deposit (Perm Krai). *Geografiya i region. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Permskiy gosudarstvennyy universitet*. Perm, 2015. Pp. 157–163.]

12. Хайрулина Е.А., Новоселова Л.В., Порошина Н.В. Природные и антропогенные источники водорастворимых солей на территории Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей // Географический вестник. 2017. № 1 (40). С. 93–101. [Hairulina E.A., Novoselova L.V., Poroshina N.V. Natural and anthropogenic sources of water-soluble salts in the territory of the Verkhnekamskoye potash-magnesium salts Deposit. *Geographical Bulletin*. 2017. №1 (40). Pp. 93–101.]

13. Шубин А.А. Решение экологических проблем на заключительной стадии функционирования горного предприятия // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2005. № 11. С. 168–173. [Shubin A.A. The solution of environmental problems at the final stage of functioning of the mining enterprise. *Mining informational and analytical bulletin*. 2005. № 11. Pp. 168–173.]

14. Seregin A.P. Further east: eutrophication as a major threat to the flora of Vladimir oblast, Russia. *Environmental Science and Pollution Research*. 2014. Vol. 21. № 22. Pp. 12883–12897.

Статья поступила в редакцию 21.05.2017.

The article was received on 21.05.2017.

Шишконокова Екатерина Анатольевна – кандидат географических наук; старший научный сотрудник отдела генезиса, географии, классификации и цифровой картографии почв, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, г. Москва

Shishkonakova Ekaterina A. – PhD in Geography; Senior Researcher of Department of Genesis, Geography, Classification and Digital Cartography of Soils, V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russian Federation

E-mail: shishkonakova_ea@esoil.ru

А.Н. Пучкова^{*,}, О.Н. Ткаченко^{*}, В.Б. Дорохов^{*}**

^{*} Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН,
117485 г. Москва, Российская Федерация

^{**} Государственный институт русского языка им. А.С. Пушкина,
117485 г. Москва, Российская Федерация

Специфика динамики размера зрачка в процессе работы с арифметическими задачами¹

Исследования показывают, что зрачок у человека реагирует не только на уровень освещенности, но и на уровень эмоционального возбуждения и умственную нагрузку. В целом на активацию любого типа зрачок реагирует расширением. Однако динамика его реакций на продолжительное воздействие остается менее изученной. В статье рассматриваются результаты экспериментального исследования зрачковых реакций в ходе воздействия продолжительной когнитивной нагрузки. Для регистрации диаметра зрачка использовался метод видеоокулографии (айтрекинга), в качестве когнитивной нагрузки применялось решение арифметических задач в уме с последующим выбором правильного ответа на протяжении 60 или 90 минут. В исследовании участвовало 16 испытуемых 18–28 лет. Показана чувствительность диаметра зрачка к подзаданию: вычислению в уме или выбору варианта ответа. Поиск ответа вызывал общую активацию испытуемого и достоверное расширение зрачка. Выраженность и динамика этих различий были индивидуальны. Не удалось обнаружить корреляции между временем решения задачи и средним диаметром зрачка. Кроме того, у троих испытуемых отмечается феномен гипнуса – медленного колебания диаметра зрачка при постоянном освещении, который может сопровождать умственную работу и утомление. Мы предполагаем, что изменение диаметра зрачка может сигнализировать о резком изменении в активации,

но не всегда может служить маркером текущей сложности задачи, особенно при выполнении достаточно монотонного задания.

Ключевые слова: видеоокулография, айтрекинг, диаметр зрачка, пупиллография, арифметические задачи, когнитивная нагрузка, биомаркеры когнитивной нагрузки, гиппус.

A.N. Puchkova^{*,}, O.N. Tkachenko^{*}, V.B. Dorohov^{*}**

^{*} Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology,
Russian Academy of Sciences,
Moscow, 117485, Russian Federation

^{**} Pushkin State Russian Language Institute,
Moscow, 117485, Russian Federation

Specifics of pupil size dynamics in the process of working with arithmetic tasks²

Numerous studies demonstrate that pupil diameter reacts not only to the surrounding luminosity but also to emotional arousal and cognitive workload. Generally, any type of activation leads to pupil dilation. Pupil reactions to the prolonged workload is less well studied. In our study a subject had to solve arithmetic tasks and choose the right answers for 60 or 90 minutes. We were performing pupillometry via eye tracking. 16 subjects (age 18–28) took part in the study. Pupil diameter was a marker of a subtask: mental calculation or selection of a right answer. Searching for an answer caused an overall activation and significant pupil dilation. The scope and dynamic of this reaction have shown individual variability. We have not found any significant correlation between pupil diameter and time spent on each task. Moreover, in three subjects we have detected a phenomenon of hippus, slow pupil oscillations in constant light conditions which may accompany mental work or fatigue. We suppose that pupil diameter can signal a rapid change in arousal or activation but is not a reliable marker of a current task difficulty, especially when performing a relatively monotonous task.

² This work was supported by a RGNF grant #15-06-10874.

Key words: videooculography, eye tracking, pupil diameter, pupillography, arithmetic tasks, mental workload, cognitive workload markers, hippus.

Проблема высоких умственных нагрузок и необходимости поддержания высокого уровня внимания в ходе работы или обучения с каждым годом становится все более актуальной. В связи с этим активно развивается направление исследований возможных биомаркеров когнитивной нагрузки и основанных на них систем мониторинга. Благодаря развитию систем бесконтактной видеоокулографии (видеорегистрации движений глаз, eye trackers) характеристики глазодвигательной активности оказались одними из кандидатов на роль таких маркеров. Одним из параметров, чувствительных к состоянию оператора, оказался диаметр зрачка.

Главной функцией зрачка является контроль количества света, попадающего на сетчатку глаза. Мышцы зрачка не подвержены сознательному контролю и иннервируются обоими отделами вегетативной нервной системы. Активация симпатического или угнетение парасимпатического отдела приводит к расширению зрачка; активация парасимпатического отдела или угнетение симпатического – к сужению. Таким образом, диаметр зрачка определяется, в том числе, балансом активности вегетативной нервной системы. В силу такого типа регуляции зрачок изменяет диаметр в ответ на многочисленные факторы воздействия, помимо световых, в том числе – психологической природы [Beatty, Lucero-Wagoner, 2000].

Исследования показывают, что в общем случае при увеличении уровня возбуждения зрачок расширяется. Увеличение диаметра зрачка наблюдается при эмоциональных реакциях, росте когнитивной нагрузки, появлении неожиданных или значимых для человека стимулов (Там же). Зрачковые реакции неспецифичны по отношению к источнику возбуждения и представляют большой интерес в когнитивных и психологических исследованиях.

Современные системы бесконтактной видеоокулографии позволяют непрерывно отслеживать диаметр зрачка, не мешая испытуемому выполнять поставленную перед ним задачу. Пупиллометрия (измерение диаметра зрачка) эффективно применяется в области исследования когнитивной нагрузки. Она позволяет оценить нагрузку при выполнении операторской деятельности, решении различных экспериментальных и практических заданий [Beatty, Lucero-Wagoner, 2000; Wang, 2011; Величковский, Морозов, 2013].

Диаметр зрачка считается достаточно надежным индикатором общего возрастания умственной нагрузки, однако не для всех задач известна более подробная временная динамика размера зрачка. Для задач отслеживания состояния систем показано, что на временных интервалах нескольких секунд субъективное увеличение сложности приводит к значимому увеличению диаметра зрачка [Величковский, Морозов, 2013]. В то же время в ситуации свободного отслеживания нескольких целей диаметр зрачка значимо увеличивался только для сложного условия и не различался для простого и среднего по сложности. Кроме того, увеличение диаметра начинается с задержкой около 4 с [Meghanathan et al., 2014].

Вызванные заданием зрачковые реакции (task-evoked pupillary response, TEPR) являются объектом активного исследования в области когнитивной и профессиональной психологии. Если есть возможность привязать реакцию зрачка к какому-то четко определяемому событию, например, появлению задачи, то TEPR оказывается более выраженной для более сложных заданий [Wang, 2011; Iqbal et al., 2004; Marquart, 2015].

Значительно менее исследована динамика зрачковых реакций при работе с математическими выражениями. Увеличение диаметра зрачка с ростом сложности показано для одиночной операции умножения в условиях жесткого контроля времени предъявления элементов выражения и работе в парадигме исследования TERP [Marquart, 2015]. Показана значительно более выраженная реакция зрачка при умножении двух чисел по сравнению со сложением, умножения двузначных чисел по сравнению с однозначными, реакция развивается менее чем за секунду [Jainta, Vaccino, 2010]. Однако неизвестны зрачковые реакции для более естественных условий и меньших перепадов сложности, когда испытуемый видит все выражение из нескольких действий и может решать его удобным ему образом. Неясно, будет ли зрачок отражать колебания нагрузки при работе с достаточно длинными выражениями и длительным (5 с и более) временем решения.

Большинство работ, оценивающих динамику зрачковых реакций при работе с арифметическими заданиями, используют задачи с одним арифметическим действием и большие различия в сложности заданий. Их сложность испытуемые легко могут оценить сразу после предъявления. Для данного исследования использовались в целом более сложные для быстрой оценки задачи с несколькими операциями. Эти достаточно длинные выражения требовалось считывать с экрана – испытуемые не могли запомнить все выражение и полностью проводить вычисления «в уме».

Цель исследования

Целью данной работы являлось исследование динамики диаметра зрачка в ходе длительного и непрерывного решения арифметических задач из нескольких действий, а также поиск ассоциаций базовых зрачковых реакций со скоростью решения задач.

Материалы и методы исследования

В ходе исследования испытуемые должны были вычислять в уме арифметические задачи, демонстрируемые в центре экрана, и выбирать правильный вариант ответа из двух появляющихся на экране по щелчку курсора мыши на задаче. По правильному ответу следовало щелкнуть курсором мыши, после чего вернуть его в центр экрана.

Задачи состояли из четырех различных двухзначных чисел, двух знаков «+» и одного знака «-» в случайном порядке. Ответы располагались справа и слева от задачи и отличались между собой не более чем на 15.

Перед испытуемыми стояло задание работать как можно быстрее и точнее, сначала вычислять ответ и только после этого щелкать по задаче, а также не угадывать вариант ответа. Перерывы между предъявлениями задач составляли 3 с. Задачи и ответы предъявлялись черным шрифтом в тонкой черной прямоугольной раме на сером фоне [Пучкова и др., 2013].

Было проведено 2 серии экспериментов, имевших общую схему, но отличавшихся нагрузкой. Первая серия: рабочая сессия длилась 60 мин. Вторая серия: рабочая сессия длилась 90 мин, задачи для решения усложнены (задачи, отнимавшие на решение менее 6 с, были убраны). Также во второй серии была введена обратная связь: в перерыве между предъявлениями прямоугольник, в котором находилась задача, был зеленым при правильном решении и красным при неправильном.

Высокая длительность работы позволяла оценить вариабельность скорости и эффективности решения. Каждый испытуемый принимал участие в двух опытах, разделенных недельным интервалом для оценки стабильности индивидуальных характеристик. В каждой серии было 2 набора заданий, которые решали все испытуемые. Порядок решения наборов заданий был рандомизирован по дням участия в эксперименте. Опыт начинался в 12:00.

Схема эксперимента была одобрена этическим комитетом Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН. Все испытуемые давали информированное согласие на участие в эксперименте.

К эксперименту допускались здоровые испытуемые-правши, с нормальным зрением или скорректированными незначительными нарушениями зрения, не страдающие высокой дневной сонливостью. Были проведены эксперименты на 16 испытуемых в возрасте 18–28 лет (7 женского пола, 9 мужского пола, средний возраст $23,6 \pm 3,34$ года). 4 испытуемых (2 мужского пола, 2 женского пола) участвовали в первой серии экспериментов, остальные испытуемые – во второй.

Для регистрации движений взгляда использовалась система видеотрекинга Eyegaze Analysis System (120 Гц) и программа NYAN 2.0. Эксперименты проводились в изолированной камере с фоновым освещением яркостью 500 люмен. Яркость предъявляемых на мониторе стимулов также была постоянной для предотвращения реакций зрачка на освещение. Анализ данных проводился с использованием скриптов в программном пакете Matlab 7.1. Статистическая обработка результатов проводилась в Statistica 7.0 (StatSoft, США), отличия считали достоверными при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Результаты работы в 3 экспериментальных сессиях были исключены из анализа из-за неправильного выполнения задания или качества записи. В качестве параметра сложности задания было выбрано время решения задачи от ее появления до щелчка по ней.

Анализ скорости работы показал, что даже при непрерывной работе в данной парадигме в течение 90 минут не наблюдается заметного снижения темпа или правильности выполнения задания. Колебания скорости работы скорее отражают меняющееся состояние испытуемого, его мотивацию и затрачиваемые на отдельные задачи усилия [Пучкова и др., 2016].

Для исследуемой выборки была характерна высокая индивидуальная вариабельность скорости и правильности работы и внутрииндивидуальная стабильность этих параметров при сравнении результатов в разные дни. Среднее время решения задач в группе испытуемых составило от $8,36 \pm 0,46$ до $31,03 \pm 0,48$ с. При этом они совершали от $1,90 \pm 1,39$ до $20,06 \pm 3,70$ процентов ошибок.

Был проведен корреляционный анализ времени решения задания и среднего диаметра зрачка в ходе решения. Анализ показал нестабильную корреляцию данных параметров: в случае наличия значимой корреляции коэффициент корреляции составлял не более 0,3, а для одного испытуемого был отрицательным. Корреляция в основном

обуславливалась взаимоотношением диаметра зрачка и единичных наиболее долго решаемых задач. При исключении этих точек из анализа однозначная и значимая корреляция этих параметров не обнаруживалась. Таким образом, нельзя однозначно соотнести такие интегральные оценки, как средний диаметр зрачка и время решения при работе с арифметическим заданием из нескольких действий.

Также было проведено сравнение среднего диаметра зрачка при выполнении двух четко различимых подзаданий: вычисления ответа и поиска правильного варианта ответа. Для всех записей, кроме одного опыта у одного испытуемого, диаметр зрачка был значимо выше при поиске ответа по сравнению с решением (t -тест, $p < 0,001$). Такие же результаты были получены и при анализе данных в парадигме, приближенной к TEPR. При сравнении среднего диаметра зрачка в первые 1000 мс решения задачи и поиска ответа (если поиск занимал менее 1 с, данные усреднялись для всего времени поиска) значок имеет значимо больший диаметр во время поиска. Этот результат также был высоко значим (t -тест, $p < 0,001$) для всех испытуемых, кроме одной записи для одного испытуемого. В связи с этим мы предполагаем, что реакция зрачка здесь отражает не сложность задания, а общую активацию. Выбор правильного ответа испытуемый должен был сделать как можно быстрее, и от него требовалась точная и быстрая моторная реакция – перемещение курсора мыши и нажатие на кнопку. По сравнению со счетом в уме это в большей степени мобилизовало испытуемого и вызывало дополнительное расширение зрачка. Таким образом, диаметр зрачка оказывается маркером текущего подзадания – вычисления или поиска варианта ответа.

При анализе индивидуальных особенностей отмечается разная выраженность этого эффекта: степень расширения зрачка при поиске ответа индивидуальна, воспроизводится в двух экспериментах для каждого испытуемого. Кроме того, при анализе динамики этой реакции в ходе работы были обнаружены индивидуальные особенности. Испытуемых можно было условно разделить на две группы. Первая, наиболее представленная, демонстрировала стабильное увеличение диаметра зрачка при поиске ответа на протяжении всей работы. При этом степень расширения зрачка может индивидуально варьировать. Во второй группе эффект становился менее выраженным со временем. Такой паттерн был наиболее выражен у одного испытуемого (рис. 1). При анализе общей динамики изменения диаметра зрачка в ходе всего эксперимента единой тенденции не обнаруживалось. В отдельных записях отмечались как тенденции к сужению, так и к расширению зрачка.

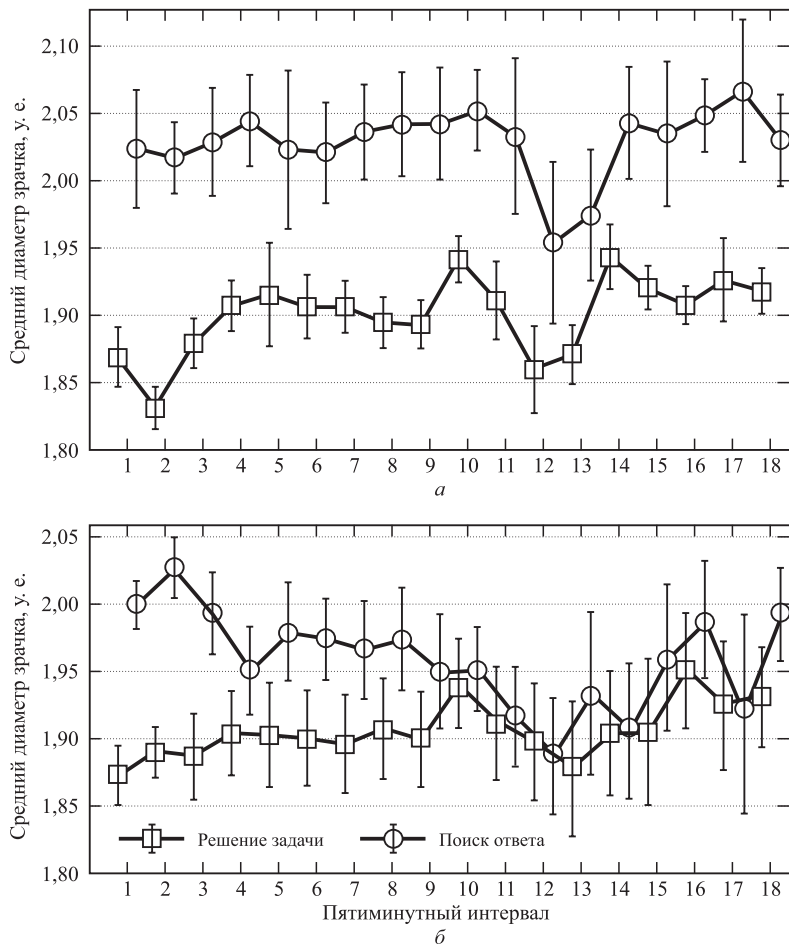


Рис. 1. Примеры динамики изменения диаметра зрачка при решении и поиске правильного варианта ответа при усреднении по пятиминутным интервалам:
а – испытуемый с ярко выраженным и стабильным расширением зрачка при поиске ответа; **б** – испытуемый с угасающей в ходе работы зрачковой реакцией при поиске ответа

Fig. 1. Examples of the changes in pupil diameter during mental calculation and search for an answer (5-min interval averages):
а – a subject with prominent and stable pupil dilation during the search for an answer; **б** – a subject with a pupil reaction to an answer search that attenuates in the process of work

При анализе динамики изменения диаметра зрачка у трех испытуемых отмечались периоды ярко выраженного гиппуса – осцилляций диаметра зрачка частоты около 1 Гц при условии постоянной освещенности. В данном исследовании колебания имели частоту около 0,2–0,25 Гц. Данные периоды были разделены более длительными промежутками с типичной картиной зрачковых реакций (рис. 2). Этот феномен редко упоминается в литературе, посвященной пупиллографии, и его причины не до конца известны. Отмечается, что подобные осцилляции могут отражать процессы регуляции автономной нервной системы, а также становиться более выраженными при утомлении и развитии сонливости [Regen et al., 2013; Schumann et al., 2015].

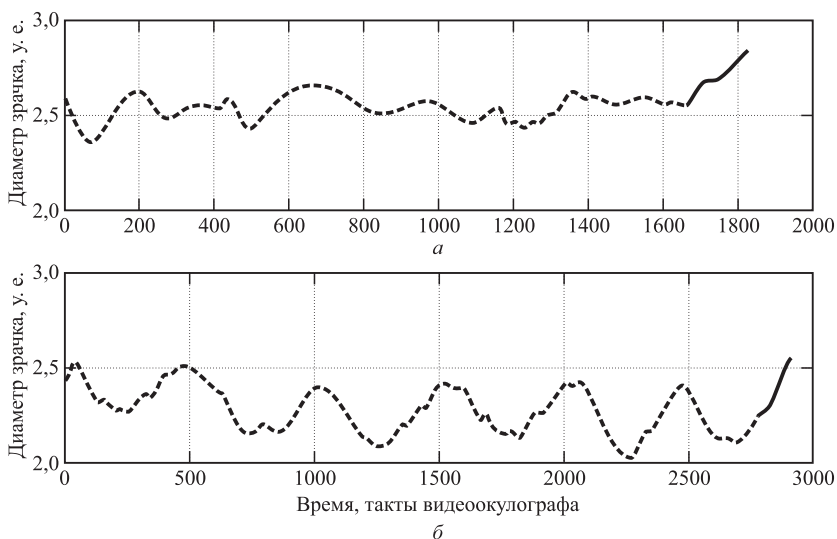


Рис. 2. Динамика диаметра зрачка в ходе решения задачи (пунктир) и поиска правильного ответа (сплошная линия). На 1 с времени приходится 120 тактов видеоокулографа:

а – типичная динамика с выраженным расширением зрачка при выборе ответа;

б – период работы с выраженными осцилляциями зрачка (гиппусом) с периодом около 4 с

Fig. 2. Pupil diameter dynamics during mental calculation (dotted line) and search for an answer (solid line). For 1 second there are 120 clock cycles of the videooculograph:

a – a typical dynamic with prominent pupil dilation during the search for an answer;

b – a period of work with dominating by pupil oscillations (hippus) with approximately 4 second period

У испытуемых с выраженным гиппусом нельзя было отметить временной динамики периодов осцилляций в ходе работы, они наступали хаотично. Самое раннее время наступления периода – 3 минуты после начала работы, поэтому мы не связываем их с наступлением общего утомления. Возможно, осцилляции частично связаны с периодами меньшей мотивации к работе и снижения фокуса на задании. В силу достаточно высокой амплитуды колебаний диаметра зрачка все остальные зрачковые реакции оказываются замаскированы гиппусом.

Как показывает данная работа, зрачковые реакции в ходе работы с арифметическими выражениями демонстрируют чувствительность к подзаданиям, требующим разной степени активации, а также индивидуальные особенности реагирования. Кроме того, были обнаружены осцилляции зрачка, которые связывают с утомлением, а в данной работе сопровождают интенсивную умственную деятельность с начала работы. Пупиллометрия может дать дополнительную информацию как об общих тенденциях, так и об индивидуальных особенностях реагирования в ходе умственной работы.

Библиографический список / References

1. Величковский Б.Б., Морозов М.А. Динамика размера зрачка как показатель уровня нагрузки на человека-оператора // Человеческий фактор: проблемы психологии и эргономики. 2013. № 4. С. 54–57. [Morozov M.A., Velichkovsky B.B. Pupil size dynamics as indicator of operator's workload. *Chelovecheskii faktor: problemy psikhologii i ergonomiki*. 2013. № 4. Pp. 54–57.]
2. Пучкова А.Н., Ткаченко О.Н., Дорохов В.Б. Экспериментальная модель для исследования умственного утомления и адаптивной функции дневного сна для восстановления работоспособности // Экспериментальная психология. 2013. № 1 (6). С. 48–60. [Puchkova A.N., Tkachenko O.N., Dorohov V.B. Experimental model aimed to study mental fatigue and adaptive function of a daytime nap for restoration of operational capability. *Experimental Psychology (Russia)*. 2013. № 1 (6). Pp. 48–60.]
3. Пучкова А.Н., Ткаченко О.Н., Дорохов В.Б. Стабилизирующая роль дневного сна при утомлении, вызванном непрерывной умственной работой // Социально-экологические технологии. 2016. № 1. С. 67–75. [Puchkova A.N., Tkachenko O.N., Dorohov V.B. The stabilizing role of day sleep in cases of being exhausted by constant mental work. *Socialno-ecologicheskie tehnologii*. 2016. № 1. Pp. 67–75.]
4. Beatty J., Lucero-Wagoner B. The pupillary system. *Handbook of psychophysiology*. J.T. Cacioppo, L.G. Tassinari, G.G. Berntson (ed.). NY, 2000. Pp. 142–162.
5. Iqbal S.T., Zheng X.S., Bailey B.P. Task-evoked pupillary response to mental workload in human-computer interaction. *Extended abstracts of the 2004 conference on Human factors and computing systems*. NY, 2004. Pp. 1477–1480.

6. Jainta S., Baccino T. Analyzing the pupil response due to increased cognitive demand: an independent component analysis study. *International journal of psychophysiology*. 2010. № 1 (77). Pp. 1–7.

7. Marquart G., Workload Assessment for Mental Arithmetic Tasks using the Task-Evoked Pupillary Response. *Peer J Computer. 2015. Science*. 1:e16 <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.16>.

8. Meghanathan R.N., Leeuwen C., Nikolaev A.R. Fixation duration surpasses pupil size as a measure of memory load in free viewing. *Frontiers in human neuroscience*. 2014. № 8. P. 1063.

9. Regen F., Dorn H., Danker-Hopfe H. Association between pupillary unrest index and waking electroencephalogram activity in sleep-deprived healthy adults. *Sleep Medicine*. 2013. № 9 (14). Pp. 902–912.

10. Schumann A., Kralisch C., Bar K.-J. Spectral decomposition of pupillary unrest using wavelet entropy. *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS*. 2015. Pp. 6154–6157.

11. Wang J.T. Pupil dilation and eye-tracking. *A handbook of process training methods for decision research: A critical review and user's guide*. M. Schulte-Mecklenbeck, A. Kühberger, R. Ranyard (eds.). Psychology Press, 2011. Pp. 1–33.

Статья поступила в редакцию 29.11.2016.

The article was received on 29.11.2016.

Пучкова Александра Николаевна – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории нейробиологии сна и бодрствования, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН; ведущий научный сотрудник центра нейрокоммуникативных исследований, Государственный институт русского языка им. А.С. Пушкина, г. Москва

Puchkova Alexandra N. – PhD in Biology; Senior Research Fellow, Laboratory of Sleep and Wakefulness Neurobiology, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology RAS; Senior Research Fellow of Center for Cognition and Communication, Pushkin State Russian Language Institute, Moscow

E-mail: puchkovaan@gmail.com

Ткаченко Ольга Николаевна – кандидат биологических наук; научный сотрудник лаборатории нейробиологии сна и бодрствования, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, г. Москва

Tkachenko Olga N. – PhD in Biology; Research Fellow, Laboratory of Sleep and Wakefulness Neurobiology, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology RAS

E-mail: tkachenkoon@gmail.com

Дорохов Владимир Борисович – доктор биологических наук; заведующий лабораторией нейробиологии сна и бодрствования, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, г. Москва

Dorohov Vladimir B. – Dr. Biol. Hab.; Head of Laboratory of Sleep and Wakefulness Neurobiology, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology RAS, Moscow

E-mail: vbdorokhov@mail.ru

Издание
подготовили
к печати:
редактор
А. А. Козаренко,
корректор
А. А. Алексеева,
обложка, макет,
компьютерная
верстка
Н. А. Попова

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

**Природа и человек:
экологические исследования**

2017.3

Электронная версия журнала:
www.soc-ecol.ru

Сдано в набор 20.09.2017 г.
Подписано в печать 28.09.2017 г.
Формат 60×90 1/16. Гарнитура «Times New Roman».
Объем 5,75 п. л. Тираж 1000 экз.