16+

ISSN 2500-2961
УДК 55:57:58:59:61:91

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

2020. Т. 10. № 4

Природа и человек: экологические исследования

Учредитель и издатель:
Московский педагогический государственный университет

Свидетельство о регистрации СМИ: ПИ № ФС 77–67765 от 17.11.2016 г.

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

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

Издается с 2011 г.

Выходит 4 раза в год

Журнал входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий ВАК РФ:

Биологические науки
03.02.01 – Ботаника
03.02.07 – Генетика
03.02.08 – Экология
03.02.13 – Почвоведение
03.02.14 – Биологические ресурсы
03.03.01 – Физиология
03.03.06 – Нейробиология

Науки о Земле
25.00.23 – Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов
25.00.36 – Геоэкология

Подписной индекс журнала по Объединенному каталогу «Пресса России» – **85004**

© МПГУ, 2020

ISSN 2500-2961

ENVIRONMENT AND HUMAN:
ECOLOGICAL STUDIES

2020. Vol. 10. No. 4

Socialno-ecologicheskie Technologii

The Founder and Publisher:
Moscow Pedagogical State University

Mass media registration certificate
ПИ № ФС 77–67765
as of 17.11.2016

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

The journal is included in the list of the leading peer-reviewed scholarly journals the Higher Attestation Commission of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation recommended to PhD candidates and those working for their habilitation who wish to publish the results of their research

The journal has been published since 2011

The journal is published 4 times a year

E-mail: izdat_mgopu@mail.ru

Information on journal can be accessed via: soc-ecol.ru

© MPGU, 2020

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; доцент кафедры клеточной биологии факультета биологии и биотехнологии, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва

Павел Алексеевич Агапов – кандидат биологических наук; доцент кафедры анатомии и физиологии человека и животных Института биологии и химии, Московский педагогический государственный университет; научный сотрудник лаборатории анатомии и архитектоники мозга Отдела исследований мозга, Научный центр неврологии, г. Москва

Ирина Олеговна Алябина – доктор биологических наук, доцент; профессор кафедры географии почв факультета почвоведения, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Ирина Вениаминовна Беляева-Чемберлен – доктор биологических наук; 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

Алексей Владимирович Богданов – доктор биологических наук; главный научный сотрудник лаборатории прикладной физиологии высшей нервной деятельности человека, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, г. Москва

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

Владимир Павлович Викторов – 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

Юрий Никифорович Водяницкий – доктор сельскохозяйственных наук, доцент; профессор кафедры общего почвоведения факультета почвоведения, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

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 отделом степеведения и природопользования, Институт степи Уральского отделения РАН, г. Оренбург

Дмитрий Леонидович Лопатников – доктор географических наук, доцент; старший научный сотрудник лаборатории географии мирового развития, Институт географии РАН, г. Одинцово Московской обл.

Татьяна Михайловна Лысенко – доктор биологических наук, доцент; ведущий научный сотрудник лаборатории проблем фиторазнообразия, Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти Самарской области; ведущий научный сотрудник лаборатории общей геоботаники, Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург

Ирина Владимировна Лянгузова – доктор биологических наук, старший научный сотрудник; ведущий научный сотрудник лаборатории экологии растительных сообществ, Ботанический институт им. В.Л. 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

Наталия Борисовна Панкова – доктор биологических наук, доцент; главный научный сотрудник лаборатории физико-химической и экологической патофизиологии, Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии, г. Москва

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

Владимир Николаевич Сальков – доктор медицинских наук; старший научный сотрудник лаборатории функциональной морфохимии Отдела исследований мозга, Научный центр неврологии, г. Москва

Олег Викторович Созинов – доктор биологических наук, доцент (ВАК Республики Беларусь); заведующий кафедрой ботаники, Гродненский государственный университет им. Янки 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, доцент; 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; эксперт WWF России

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 at the Department of Botany at the Institute of Biology and Chemistry, Moscow Pedagogical State University, Russia

Deputy Chief Editor

Zinaida I. Gordeeva – professor at the Department of Ecology and Environmental Sciences at the Faculty of Geography, Moscow Pedagogical State University, Russia

Executive secretary

Ekaterina O. Korolkova – associate professor at the Department of Botany at the Institute of Biology and Chemistry, Moscow Pedagogical State University; Associate Professor at the Department of Cell Biology of the Faculty of Biology and Biotechnologies, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Pavel A. Agapov – associate professor at the Department of Anatomy and Physiology at the Institute of Biology and Chemistry, Moscow Pedagogical State University; researcher at the Anatomy and Architectonics Laboratory at the Brain Research Department, Research Center of Neurology, Moscow, Russia

Irina O. Alyabina – professor at the Soil Geography Department at the Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University, Russia

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

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

Aleksej V. Bogdanov – head at the Laboratory of General Physiology of Temporary Connections, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

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

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

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

Vasilii I. Eroshenko – head at the Department of Ecology and Environmental Sciences at the Faculty of Geography, Moscow Pedagogical State University, Russia

Vladimir S. Friedman – senior researcher at the Laboratory of Ecology, Biological Invasions and Conservation at the Department of Higher Plants of Biological Faculty, Lomonosov Moscow State University, Russia

Olga V. Galanina – associate professor at the Department of Biogeography and Environmental Protection at the Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University, Russia

Sergey V. Levykin – Head at the Department of Steppe Studies and Nature Management, Institute of Steppe, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

Dmitry L. Lopatnikov – senior researcher at the World Development Geography Laboratory, Institute of Geography RAS, Odintsovo, Moscow region, Russia

Irina V. Lyanguzova – leading researcher at the Laboratory of Ecology of Plant Communities, Komarov Institute of Botany, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Tatyana M. Lysenko – senior researcher at the 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, Russia

Serge V. Naugolnykh – chief scientific officer at the Laboratory of Paleofloristics, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Natalia B. Pankova – chief scientific officer at the Laboratory of Physical-Chemical and Environmental Pathophysiology, Institute of General Pathology and Pathophysiology, Moscow, Russia

Svetlana K. Piatunina – director at the Institute of Biology and Chemistry, Moscow Pedagogical State University, Russia

Vladimir N. Salkov – senior researcher at the Laboratory of Functional Morphochemistry, Research Center of Neurology, Moscow, Russia

Andrei V. Scherbakov – leading researcher at the Laboratory of Ecology, Biological Invasions and Nature Protection of Higher Plants at the Biological Faculty, Lomonosov Moscow State University, Russia

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

Yulia K. Vinogradova – chief researcher at the Flora Department, N.V. Tsitsin Main Botanical Garden, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Vladimir P. Viktorov – head at the Department of Botany at the Institute of Biology and Chemistry, Moscow Pedagogical State University, Russia

Yury N. Vodyanitsky – professor at the Department of General Soil Science at the Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University, Russia

Mikhail S. Yablokov – expert WWF Russia

Vladimir I. Yashkichev – professor at the Department of Ecology and Environmental Sciences at the Faculty of Geography, Moscow Pedagogical State University, Russia

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

Содержание

ИЗУЧЕНИЕ И СОХРАНЕНИЕ
БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ

С.Ю. Золкин

К вопросу о связи структуры плода
Calophyllum inophyllum L. (Calophyllaceae)
с экологией произрастания
и особенностями распространения 393

В.А. Чадаева, Г.А. Кярова

Состояние ценопопуляций
Platanthera chlorantha (Custer) Rchb. (Orchidaceae)
в условиях антропогенной нагрузки
на лесные и луговые фитоценозы
Центрального Кавказа 411

ИССЛЕДОВАНИЕ
АНТРОПОГЕННО-ИЗМЕНЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ
И УРБОЭКОЛОГИЯ

М.В. Казакова, А.Д. Пастушенко

Мемориальный парк героев 1812 года –
объект ландшафтно-исторического
и природного наследия города Рязани 429

*Т.В. Носкова, О.В. Ловцкая,
Т.С. Папина, М.С. Панина*

Распределение органических веществ
в снежном покрове города Барнаул 447

*О.А. Соболева, О.С. Щетинская,
Л.Н. Анищенко*

Эколого-химическая оценка
городских родников Брянской области 459

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ОБЗОРЫ

*О.Н. Ткаченко, В.Б. Дорохов,
В.В. Дементиенко*

Психофизиологические аспекты поддержания
оптимального уровня внимания водителей
при частично автоматизированном
вождении автомобиля 482

Contents

STUDY AND CONSERVATION OF BIOLOGICAL DIVERSITY

S.Yu. Zolkin

On the connection of the fruit structure of *Calophyllum inophyllum* L. (Calophyllaceae) with the ecology of seashore plants and water dispersion 393

V.A. Chadaeva, G.A. Kyarova

Population Status of *Platanthera chlorantha* (Custer) Rchb. (Orchidaceae) under anthropogenic load conditions in the forest and meadow phytocenoses of the Central Caucasus 411

ANTHROPOGENICALLY MODIFIED ECOSYSTEMS AND URBAN ECOLOGY

M.V. Kazakova, A.D. Pastushenko

Memorial Park of the Heroes of the Patriotic War of 1812 as an object of the landscape-historical and natural heritage of Ryazan 429

T.V. Noskova, O.V. Lovckaya, T.S. Papina, M.S. Panina

Distribution of organic substances in the snow cover of Barnaul 447

O.A. Soboleva, O.S. Shchetinckaya, L.N. Anishchenko

Ecological and chemical assessment of urban springs in Bryansk region 459

ANALYTICAL REVIEWS

O.N. Tkachenko, V.B. Dorokhov, V.V. Dementienko

Psychophysiological aspects of maintaining drivers' optimal attention level while driving semi-autonomous cars 482

Оригинальное исследование

DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-4-393-410

С.Ю. Золкин

**Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина РАН,
127276 г. Москва, Российская Федерация**

К вопросу о связи структуры плода *Calophyllum inophyllum* L. (Calophyllaceae) с экологией произрастания и особенностями распространения

Исследована морфология, анатомия и ультраскульптура поверхности перикарпия *Calophyllum inophyllum* L. Плод – псевдомономерный шаровидный пиренарий с желтой гладкой поверхностью в начале созревания и коричневой морщинистой поверхностью при полном созревании. Отнесение плода к пиренарию доказывается по анатомическому строению эндокарпия и внутренних слоев мезокарпия. В мезокарпии, особенно в его внутренних слоях и рядом с проводящими пучками, также обнаружены два типа клеток с секреторными веществами – со смолами и жирными маслами. Выявлено, что этих веществ больше в полностью созревших плодах, что, по-видимому, связано с прекращением транспорта ассимилятов. Наличие большого количества секреторных веществ в плодах *C. inophyllum* с сильным запахом и инсектицидно-противомикробной активностью, возможно, связано как с естественной защитой их от поедания и порчи одними организмами, так и с привлечением других животных для их распространения. Наличие большого количества эпикутикулярного воска позволяет плодам при их развитии меньше смачиваться водой. Однако в перикарпии плодов, в отличие от оболочки семян, не найдена

© Золкин С.Ю., 2020
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License
The content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

аэренхима и другие структуры, позволяющие плодам распространяться морскими течениями. Эксперимент показал, что в море уносились плоды с уже деструктурированным перикарпием.

Ключевые слова: прибрежно-морские растения, распространение морскими течениями, *Calophyllum inophyllum*, Calophyllaceae, структура плода, гистология перикарпия, масла, смолы, эпикутикулярный воск

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Главного ботанического сада имени Н.В. Цицина РАН «Биологическое разнообразие природной и культурной флоры: фундаментальные и прикладные вопросы изучения и сохранения» (№ 118021490111-5) на базе уникальной научной установки «Фондовая оранжерея».

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ: Золкин С.Ю. К вопросу о связи структуры плода *Calophyllum inophyllum* L. (Calophyllaceae) с экологией произрастания и особенностями распространения // Социально-экологические технологии. 2020. Т. 10. № 4. С. 393–410. DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-4-393-410

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-4-393-410

S.Yu. Zolkin

Tsitsin Main Botanical Garden of Russian Academy of Sciences, Moscow, 127276, Russian Federation

On the connection of the fruit structure of *Calophyllum inophyllum* L. (Calophyllaceae) with the ecology of seashore plants and water dispersion

The morphology, anatomy and surface micromorphology of the fruit *Calophyllum inophyllum* L. are studied. The fruit of *C. inophyllum* is pseudomonomerous globose pyrenarium with a yellow smooth surface at the beginning of maturation, and a brown wrinkled surface at full maturity. The anatomical structure of the endocarp and the inner layers of the mesocarp shows that the fruit is a pyrenarium. Two types of cells with secretory substances – with resins and fixed oils are found in the mesocarp, especially in its inner layers and near the vascular bundles.

It is found that these substances are more abundant in fully matured fruits, which is probably associated with the ending of transport of assimilates. The presence of a large number of secretory substances in the fruits of *Calophyllum inophyllum* with a strong smell and insecticidal-antimicrobial activity may be associated with both their natural protection from eating and spoilage by some organisms, and with the attraction of other animals for their dispersion. The presence of a large amount of external epicuticular wax makes growing fruits less moistened with water. However, in the pericarp, unlike the spermoderm, no aerenchyma and other structures are found that allow the fruit to be dispersed by sea currents. The experiment showed that fruits with decomposed pericarp are better dispersed by sea currents.

Key words: seashore plants, water dispersion, Calophyllaceae, *Calophyllum inophyllum*, fruit structure, pericarp histology, oils, resins, epicuticular wax

Acknowledgements. The research was supported by the state assignment of the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences "Biological diversity of natural and cultural flora: Fundamental and applied issues of study and conservation" (No. 118021490111-5) at the Unique Scientific Installation "Fund Greenhouse".

CITATION: Zolkin S.Yu. On the connection of the fruit structure of *Calophyllum inophyllum* L. (Calophyllaceae) with the ecology of seashore plants and water dispersion. *Environment and Human: Ecological Studies.* 2020. Vol. 10. No. 4. Pp. 393–410. (In Russ.) DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-4-393-410

Введение

К роду *Calophyllum* L. из семейства Calophyllaceae [APG IV, 2016] относятся 179 видов [The Plant List, 2013], естественно произрастающих в основном в первичных дождевых лесах, реже в горных лесах тропиков. Большинство видов распространены в Южной и Юго-Восточной Азии, в экваториальном географическом поясе с круглогодично-влажным климатом. Наибольшее видовое разнообразие *Calophyllum* в Азии: юг полуострова Малакка и острова Сулавеси, Тимор и Цейлон. Есть эндемичные виды *Calophyllum* в юго-восточной Индии, Таиланде, северной Австралии и островах Полинезии.

Большинство видов *Calophyllum*, по имеющимся литературным и электронным данным их ареалов, представлены, согласно сделанному самостоятельному подсчету, в основном в одном, реже двух-трех смежных ботанико-географических районах – наименьших единицах ботанико-географического деления растительности Земли [Разумовский, 1969, 1980]. Эти данные означают, что многие виды *Calophyllum* ценофильные

и представлены на территории с однородным макроклиматом, т.е. согласно концепции С.М. Разумовского, сама система динамических рядов растительности в одном районе стремится к саморегуляции, самовосстановлению и к преобразованию местообитания (почвы и макроклимата) к устойчивому (климаксному) состоянию. Также следует признать, что большинство ценофильных видов *Calophyllum* по причине их редкости, эндемичности, не являются руководящими (определяющими, ландшафтно-важными) видами в ботанико-географических районах их произрастания [Разумовский, 2011], в отличие от концепции А.Л. Тахтаджяна, по которой именно количество эндемичных таксонов определяют флористические провинции и области [Тахтаджян, 1978].

Вид *Calophyllum inophyllum* L. по эколого-географическим критериям представляет собой полную противоположность остальным видам *Calophyllum*. Это широко распространенный в Южной и Юго-Восточной Азии ценофобный вид, встречающийся в тропическом, субэкваториальном и экваториальном географическом поясах в сезонно-влажном и кругло-годично-влажном тропических типах климата. Вместе с немногими видами из разных семейств (*Terminalia catappa* L., *Pandanus furcatus* Parkinson, *Thespesia populnea* (L.) Sol. ex Correa, *Barringtonia asiatica* (L.) Kurz., *Casuarina equisetifolia* L. и др.) образует основной компонент прибрежно-морской формации растений Старого Света [Золкин, 2014]. К основному, или мажорному компоненту (в противоположность минорному компоненту) относят виды, характерные и обычные в ее составе, с широким ареалом. Подобное экологическое деление было разработано для сравнительно обедненных видами (но имеющих широкий ареал) формации мангров [Tomlinson, 2016], но по всем признакам подходит и для прибрежно-морских растений. Произрастает *Calophyllum inophyllum* преимущественно в прибрежной морской полосе, на песчаных, глинистых и нарушенных почвах, приморских холмах, изредка в ближайших тропических низинных лесах до высоты 200 м над уровнем моря.

Занимателен вопрос современного географического распространения этого вида. В настоящее время вид изредка можно встретить по тропическим побережьям Америки, но это явно адвентивный в последние столетия, а возможно и потенциально инвазионный таксон, вследствие «убегания» экземпляров этого декоративного растения из мест культивирования. Более запутанным является произрастание этого вида растений сотни, а может и тысячи лет по побережьям Восточной Африки, Мадагаскара, Маврикия и островов Полинезии. Объяснение может быть социальным и биолого-экологическим.

Экземпляры *Calophyllum inophyllum*, растущие на морских побережьях, обычно крупнее представителей этого вида, произрастающих в низинных лесах. Эти деревья, растущие у самой кромки берега, имеют обычно крепкие, но изогнутые стволы. Именно такие стволы *C. inophyllum*, реже других видов *Calophyllum*, крепятся как мачты в узких, но длинных аутригерных каноэ и катамаранах, создаваемых австронезийскими племенами уже на протяжении нескольких тысяч лет [Damon, 2017]. Европейцы, узнав о материалах и технологиях изготовления быстроходных австронезийских судов, назвали *Calophyllum inophyllum* мачтовым деревом (Mastwood). Другое название растения – таману (Tamanu), по наименованию вязкого масла, также с древних времен получаемого прессованием из высушенных семян *C. inophyllum*, широко используемое в традиционной медицине [Головкин, Золкин, Трофимова, 2019, с. 69].

Во время крупнейших волн миграций австронезийских народов из Юго-Восточной Азии на острова Индийского и Тихого океанов от 3,5 тыс. (по другим данным – от 1,4 тыс.) лет до н.э. до XII в. н.э. быстроходные аутригерные каноэ и катамараны перевозили не только людей, их вещи, предметы обихода, домашних животных, но и целые группы культивируемых растений [Bellwood, 2005]. Таким образом, *C. inophyllum* послужил не только средством достижения цели, но и вместе с *Calocasia esculenta* (L.) Schott (таро), *Cocos nucifera* L. (кокосовая пальма), *Dioscorea* spp. (виды ямса), *Piper* spp. (виды перца), *Musa* spp. (виды банана), *Aleurites moluccanus* (L.) Willd. (тунг), *Artocarpus heterophyllus* Lam. (джекфрут) и многими другими растениями (до 100 видов) стали крупнейшей экологической и социальной экспансией на островах Микронезии, Меланезии, Полинезии и Мадагаскара, повлиявшей на местные аборигенные виды растений и быт народов. Культивировавшиеся растения нередко считались австронезийцами сакральными видами, прежде всего рощи *Calophyllum inophyllum*, в которых жили духи [Dweck, Meadows, 2002], поэтому растения охраняли и размножали, вследствие чего они быстро распространились на новых территориях, и сейчас их относят скорее к местным, нежели к адвентивным и инвазионным видам.

Однако диаспоры многих прибрежно-морских растений, в том числе и плоды *C. inophyllum*, могли расселяться на большие пространства и естественным путем. Это биолого-экологическое объяснение заключается в том, что плоды, семена, споры, побеги многих растений могут долгое время не тонуть в морской воде благодаря легкости и особенностям морфолого-анатомического строения. Обтекаемая форма диаспор,

очень маленький вес, наличие воздуха в особых выростах, волоски-присоски – это возможные морфологические приспособления для переноса по морским течениям, по ветру или с помощью других животных. Наличие специализированных тканей, секреторных веществ, клеток и межклетников – анатомические признаки, которые также позволяют «помочь» растениям в их «переселении».

В настоящее время были проведены только морфологическо-анатомические исследования семян *Calophyllum inophyllum*. Они шаровидные, твердые, диаметром до 3 см [Corner, 1976]. В спермодерме отдельные клетки паренхимы и аэренхимы с темно-коричневым вязким содержимым [Corner, 1976], некоторые клетки паренхимы содержат пигмент [Шабес, Морозова, 1991]. Однако подробное анатомическое описание семян различно, и причиной этому служит неясность в разграничении гистологических зон эндокарпия плода и экзотесты семени. Следствием этого является и разная трактовка типа плода *Calophyllum* L. – односемянная ягода [Corner, 1976] или костянка [Vaughan, 1970]. E.J.H. Corner считает, что оболочка семени толстая и многослойная (25–35 слоев клеток), включает в себя наружную паренхиматозную ткань, склеренхиму и внутреннюю аэренхиматозную ткань с тонкостенными клетками [Corner, 1976]. Напротив, J.G. Vaughan отмечает, что спермодерма тонкая, состоит только из паренхимы и проводящей ткани, все остальное относится к околоплоднику [Vaughan, 1970].

Целью данного исследования является изучение морфологии, анатомии и ультраскульптуры поверхности перикарпия *Calophyllum inophyllum для* более четкого понимания типа плода этого таксона, отличительных структурных признаков, которые могут быть связаны, в том числе с экологией произрастания и особенностями распространения растения.

Материалы и методы

Материал для исследования был собран из разных источников, что не всегда удается в карпологических исследованиях. Во-первых, свежий материал собран в январе 2020 г. в природе, из мест естественного произрастания *C. inophyllum* – из пяти локаций в прибрежно-морской формации (три – в районе бухты Сианшуй (Xiang Shui Bay), два – в бухте Синьцунь (Xincun Bay), в 2 км от деревни Синьцунь в Линшуйском автономном округе (Lingshui Li Autonomous County) острова Хайнань (крайний юг Китая, с тропическим переменно-влажным климатом)). Во-вторых, плоды были получены из карпологической коллекции Ботанического института имени В.Л. Комарова РАН (Санкт-Петербург, Россия).

Собранный материал хранился в сухом виде в бумажных пакетиках или фиксировался в 70% этиловом спирте. Материал плодов, полученный из гербария, для восстановления естественной клеточной структуры предварительно размягчался в термостате в течение 10 суток в смеси Страсбургера: 90% этилового спирта, глицерина и воды в равных соотношениях. Для исследования морфологии плодов применялся бинокуляр, с помощью которого изучалось внешнее и отчасти внутреннее строение плодов. Описание морфологии плодов приведено с использованием соответствующей терминологии [Меликян, Девятов, 2001].

Анатомия плодов была изучена на приготовленных временных препаратах по общепринятой методике [Основы микротехнических исследований..., 2000]. Для этой цели изготовлялись поперечные срезы, выполненные в средней части зрелых плодов. Резка плодов производилась при помощи салазочного микротома с первоначальной заливкой материала в парафиновые блоки или от руки с помощью бритвы. На полученных срезах (10–15 мкм толщиной) проводились реакции с флороглюцином и соляной кислотой для обнаружения лигнина в клеточных стенках. Для более ясного понимания природы различных включений, а также химического состава клеточных структур проводились реакции окрашивания раствором I-KI и суданом III, согласно со стандартной анатомической методикой [Там же, 2000]. Для отличия эфирных масел от жиров и смол применяли раствор метилового синего в воде (0,1 г метилового синего растворяют в 500 мл воды). Приготовленные срезы заключались в глицерин под покровное стекло. Для лучшего сохранения избранных препаратов края покровных стекол были окантованы лаком.

Препараты рассматривались в световых микроскопах Биолам, Carl Zeiss и были сделаны зарисовки анатомического строения плодов с помощью рисовального аппарата (РА-4) при различных увеличениях.

При помощи электронного сканирующего микроскопа Hitachi S-405A были проведены исследования микроморфологии поверхности плодов и сделаны микрографии. Ультраскульптура поверхности плодов описана по предложенной классификации [Кравцова, Романова, 2015].

Для уяснения вопроса о плавучести плодов *Calophyllum inophyllum* был проведен несложный эксперимент. С пирса, в 20 м от берега в бухте Сианшуй, было проведено 4 визуальных измерения плавучести плодов *C. inophyllum* в море, в зависимости от их зрелости – 46 образцов созревающих зеленых, 24 образца созревающих желтых, 28 образцов созревших светло-коричневых, собранных с дерева, и 19 полежавших образцов, найденных на берегу с деструктурированной мягкой оболочкой плодов. Эксперимент проводился 2 дня – в первый день на море был штиль, во второй день – 4-бальное волнение.

Результаты

Плод – псевдомономерный пиренарий, шаровидной формы, 2,5–4 см в диаметре (рис. 1). Созревающий плод из зеленого становится желто-зеленым, с гладкой глянцевой поверхностью. Средняя часть плода (мезокарпий) мясистая, но не сочная, не толстая, 0,3–0,7 см в диаметре, со сложным ароматом смолы и масел.

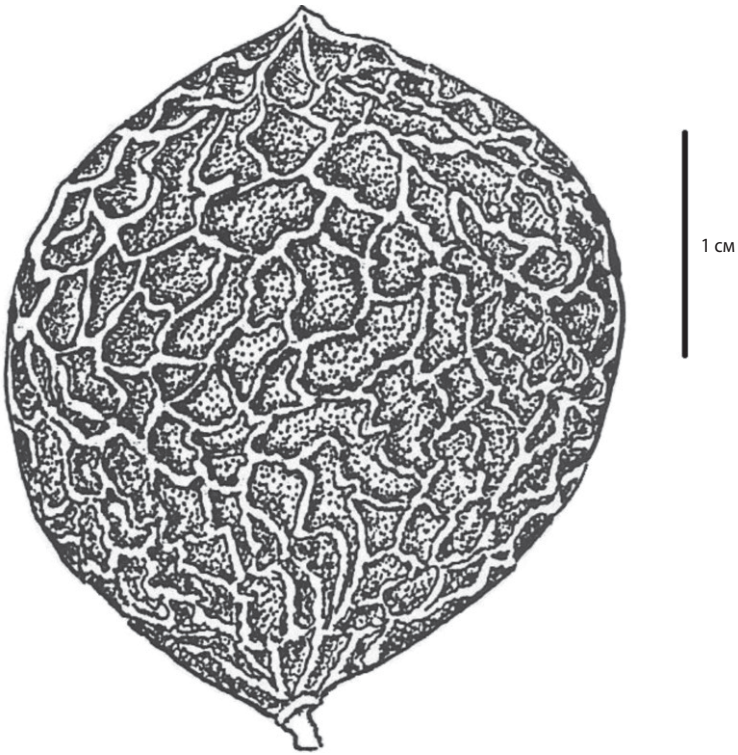


Рис. 1. Внешний вид полностью созревшего плода *Calophyllum inophyllum* L. Масштабная линейка 1 см

Fig. 1. Mature fruit morphology of *Calophyllum inophyllum* L. Scale bar 1 sm

Желтые плоды не сохраняются долго на деревьях, эту стадию вообще сложно заметить в природе. Они либо опадают на землю или в море, но чаще становятся пищей для самых различных животных [Гладкова, 1981]. Действительно, самостоятельные визуальные наблюдения на острове Хайнань показали, что птицы и особенно крупные летучие

мыши (по-видимому, виды *Pteropus* spp. – летучие лисицы) по вечерам в большом количестве садятся на ветки калофиллумов и лакомятся созревающими плодами. Специальное подкармливание обезьян-макак в питомнике «Остров обезьян» (рядом с бухтой Синьцунь) показало, что они не безразличны не только к созревающим желтым плодам, но и незрелым зеленым.

Немногочисленные полностью созревшие оставшиеся на деревьях плоды светло-коричневой или темно-коричневой окраски, с крупноморщинистой поверхностью (как у образцов из карпологической коллекции).

Косточка с семенем крупная, больше по размеру, чем мясистая оболочка плода, гладкая, сферической формы, 2–3 см в диаметре. Семя единственное в пиренарии, крупное, яйцевидное или полушаровидное, очень маслянистое, 1,7–2,5 см в диаметре, развивается из одного базально прикрепленного семязачатка, т.к. второй семязачаток редуцируется еще до раскрывания цветка. Семя имеет тонкую пленчатую экзотесту и мощную губчатую мезотесту.

Перикарпий складывается из 28–50 слоев клеток (рис. 2, 3).

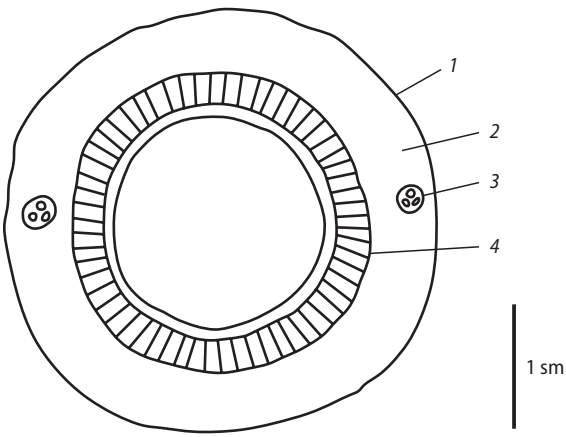


Рис. 2. Поперечный разрез посередине пиренария *Calophyllum inophyllum* L. (схема):

1 – экзокарпий; *2* – мезокарпий; *3* – проводящие пучки; *4* – эндокарпий. Масштабная линейка 1 см

Fig. 2. Schematic transverse section in the middle of pyrenarium *Calophyllum inophyllum* L.:

1 – exocarp; *2* – mesocarp; *3* – vascular bundles; *4* – endocarp. Scale bar 1 sm

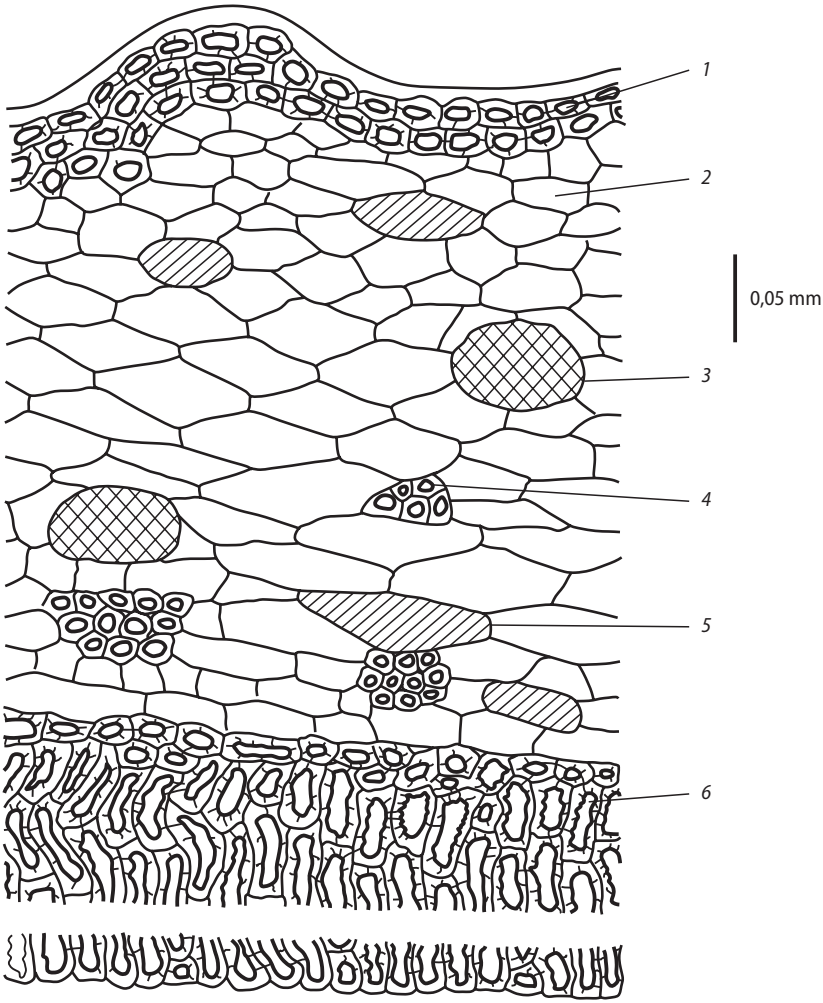


Рис. 3. Анатомическое строение перикарпия *Calophyllum inophyllum* L.:

1 – экзокарпий; *2* – мезокарпий; *3* – смоляные вместилища;
4 – проводящие пучки; *5* – идиобласты с жирным маслом;
6 – эндокарпий.
Масштабная линейка 0,05 мм

Fig. 3. Fruit anatomy of *Calophyllum inophyllum* L.:

1 – exocarp; *2* – mesocarp; *3* – resin cells; *4* – vascular bundles;
5 – fixed (fatty) oil cells; 6 – endocarp.
Scale bar 0.05 mm

Экзокарпий состоит из 2–3 слоев клеток. Форма клеток различна. Клетки наружного слоя экзокарпия, как правило, прямоугольные, слегка вытянутые в тангентальном направлении. Клетки внутреннего слоя имеют почти изодиаметрическую форму. Оболочки клеток утолщенные за счет целлюлозы (свежие образцы созревающих желтых плодов, собранные из природы), или пропитываются лигнином и одревесневают (образы созревших коричневых плодов, полученные как из природы, так и из карпологической коллекции).

Мезокарпий разделен на две топографические зоны.

Первая зона состоит из 8–15 слоев тонкостенных паренхимных клеток изодиаметрической формы. В этой зоне встречаются смоляные вместилища и идиобласты овальной формы, содержащие жирные масла.

Вторая зона состоит из 15–20 слоев тонкостенных паренхимных клеток, слегка вытянутых в тангентальном направлении. Проводящие пучки разбросаны по всей зоне, но больше всего их во внутренних слоях. Смоляные вместилища и идиобласты с жирным маслом встречаются чаще, чем в первой зоне, причем расположение их здесь приурочено больше к проводящим пучкам. Кроме того, количество смоляных вместилищ и идиобластов с жирными маслами обнаружено гораздо больше на анатомических срезах почти созревших желтых и полностью созревших морщинистых коричневых плодов.

Эндокарпий состоит из 5–10 слоев по-разному ориентированных лигнифицированных клеток. Периферические склереиды на поперечном срезе округлой формы, а внутренние склереиды имеют более изогнутую форму и вытянуты в радиальном направлении. В оболочках клеток хорошо видны поры.

Ультраскульптура поверхности мелкобугристая. Кутикула сплошная. Эпикутикулярный воск обильно представлен в виде стилоидов и отдельных гранул (рис. 4).

Небольшое визуальное исследование на плавучесть показало следующие результаты. Все собранные на 5 разных площадках 46 образцов зеленых и 24 образца желтых созревающих плодов утонули в море, постепенно погрузившись на дно. Найденные и собранные с деревьев с трех площадок в бухте Сианшуй 28 образцов морщинистых светло-коричневых семян при погружении в море показали разные результаты: 21 образец утонул, но намного медленнее, чем желтые плоды, 5 образцов выбросило на берег (не в штиль, а в день с 4-бальным волнением на море), 2 образца остались плавать и их унесло от берега. Собранные на песчаном берегу двух бухт 19 образцов темно-коричневых плодов с разной степенью деградации наружных слоев перикарпия (вследствие перегнивания) показали в большинстве своем отличную плавучесть – 14 образцов не утонули в море.

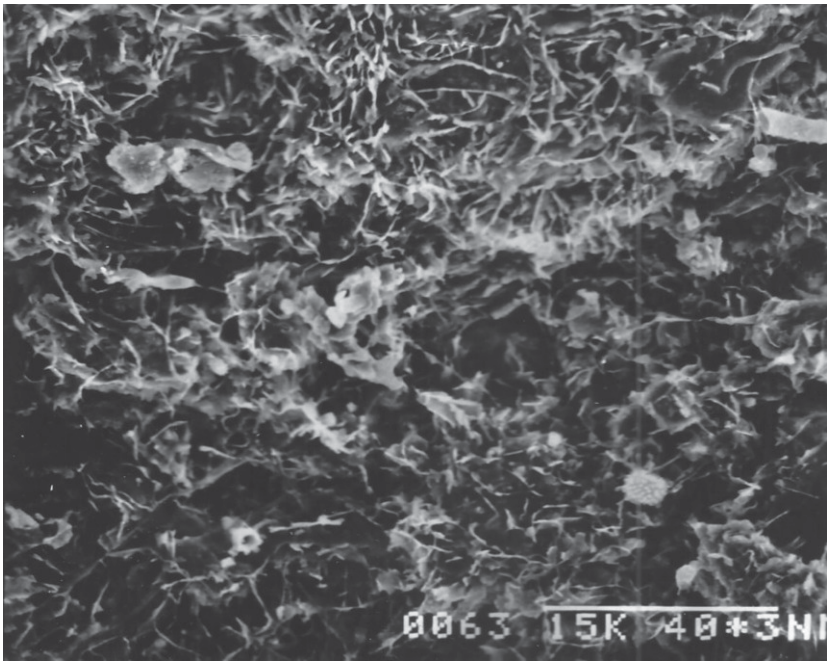


Рис. 4. Микроморфология поверхности плода *Calophyllum inophyllum* L. (×750)

Fig. 4. Fruit surface micromorphology of *Calophyllum inophyllum* L. (×750)

Обсуждение

В этом исследовании не найдены упоминаемые E.J.H. Corner (1976) коллапсированные, или раздавленные эпидермальные клетки и кутикула между внутренней зоной из лигнифицированных слоев клеток и соседним, более наружным слоем паренхимных клеток перикарпия. Напротив, клетки паренхимы прямо смыкаются с зоной лигнифицированных клеток (см. рис. 3). Поэтому мы не согласны с тремя положениями этого автора, что зона лигнифицированных клеток – это часть спермодермы, настоящий эндокарпий раздавливается, и следовательно, плоды – ягоды. Полученные данные свидетельствуют, что зона из лигнифицированных клеток – это эндокарпий, а плод – костянка, или правильнее – односемянной пиренарий.

В пиренариях возникает более совершенная односкелетная структура (однооболочечная), и поэтому существует лучшая координация функций между перикарпием и спермодермой [Василевская, Меликян, 1981].

В анатомическом строении пиренариев *Calophyllum inophyllum* это можно увидеть по характеру и расположению включений. В зеленых плодах, скорее всего, в более крупных паренхимных клетках первой зоны мезокарпия происходит фотосинтез. На начальных стадиях развития плода-пиренария ассимиляты, образущиеся в результате фотосинтеза в клетках наружной зоны мезокарпия, а также поступающие от листьев по проводящим пучкам, проходят через более тонкостенные клетки внутренних слоев мезокарпия и через еще не одревесневшие клетки эндокарпия передаются клеткам оболочки семени, как это было выявлено на плодах *Sambucus* L. и *Cornus* L. [Созонова, 1992].

В нашем исследовании были собраны и исследованы плоды, даже зеленого цвета, уже на более поздней стадии их развития. Эндокарпий представлен уже 5–10 слоями лигнифицированных клеток, поэтому транспорта ассимилятов уже нет. Они начинают накапливаться в верхних слоях мезокарпия, но больше в его внутренних слоях вокруг проводящих пучков. После окончания роста тканей перикарпия (и, соответственно, размеров плода) и окрашивания его в желтый цвет при созревании ассимиляты уже не только не образуются, но и перестают транспортироваться в соседние клетки мезокарпия. В результате избыточности ассимилятов они в результате процессов вторичного метаболизма превращаются в цитоплазме отдельных клеток в жирные масла.

Еще больше идиобластов с жирными маслами было выявлено в мезокарпии на анатомических препаратах полностью созревших светло-коричневых плодов. Это согласуется и с данными по многократному увеличению содержания жирных масел в семенах *Calophyllum inophyllum* после их механической очистки от оболочки плодов и длительном просушивании на солнце. В таких семенах содержание масла достигает от 40 до 70,4%, в основном это жирные кислоты триацилглицеринов (ТАГ), поэтому предлагается разработать методику превращения этого масла в биодизельное топливо [Aparamarta et al., 2018; Gunawan et al., 2020], а также после его детоксикации и очистки использовать как пищевое масло [Gunawan et al., 2018].

Для растения накопление подобных масел с жирными насыщенными кислотами несет прежде всего запасную функцию. Наличие жирных масел не позволяет сделать определенное заключение о влиянии его на репродуктивную миграцию вида. Тем не менее, наличие такого масла с сильным ароматом в плодах будет безусловно отпугивать одних животных и привлекать других (летучие мыши, птицы, обезьяны), что опосредованно будет влиять на перенос диаспор растения на небольшие расстояния (например, от острова к острову).

Найденные отдельные смоляные вместилища в мезокарпии *Calophyllum inophyllum*, преимущественно во внутренней зоне мезокарпия, также свидетельствует об активных процессах вторичного метаболизма и транспорте различных веществ в структуры семени при начальных этапах формирования плода. В дальнейшем при лигнифицировании клеток эндокарпия смолы скапливаются в отдельных вместилищах. Смолы – сложная группа для идентификации, но по их виду, локализации и гистохимическому окрашиванию можно сказать, что это более жидкие смолы, смешанные с маслами, нежели чистые смолы, которые чаще накапливаются в особых ходах, как у хвойных растений. До этого не было свидетельств о наличие их в перикарпии, но недавно появились работа [Cuesta et al., 2018] об их присутствии в других органах *C. inophyllum* и *C. antillanum* и подавлении активности малярийных простейших *Plasmodium falciparum William H. Welch.*

Таким образом, наличие большого количества в вегетативных и генеративных органах *Calophyllum* вторичных метаболитов как биологически активных веществ имеет большое значение в фармакологии [Filho et al. 2009]. Относительно *Calophyllum inophyllum* это способствует лучшей сохранности плодов и семян растений, и, как следствие, большей выживаемости и распространенности этих растений в формации прибрежно-морских растений, со специфическими почвенно-экологическими условиями (засоленность) и достаточно агрессивной инсектицидно-микробной окружающей средой.

Наличие эпикутикулярного воска на поверхности плодов, его форма и особенности является иногда видовым систематическим признаком. С другой стороны, большое его количество и разные типы, например, в виде стилоидов и отдельных гранул, как было установлено у *C. inophyllum*, возможно связано также и с экологией этого вида – предпочтением к прибрежно-морским местообитаниям. Наличие эпикутикулярного воска с его водоотталкивающими свойствами позволяет плодам меньше смачиваться водой.

Морфолого-анатомическое исследование перикарпия *C. inophyllum* показало отсутствие аэренхимы или особых структур для распространения сочных плодов по морю. Визуальный эксперимент подтвердил это в случае созревающих и большинства зрелых плодов – они тонули. Только в случае деструкции мягких слоев перикарпия или прохождения плодов через пищеварительный тракт животных косточка, представляющая собой одревесневший эндокарпий и защищающая крупное семя со спермодермой, в которой есть зона аэренхимы, способна плавать по водной поверхности и переноситься морскими течениями.

Выводы

1. Последовательное исследование анатомического строения внутренних зон перикарпия *Calophyllum inophyllum* показало, что плод – псевдомономерный пиренарий.

2. В перикарпии не выявлено аэренхимы или других морфолого-анатомических структур, позволяющим плодам распространяться по морю. Это подтвердили и результаты эксперимента, в котором все созревающие зеленые и желтые плоды с гладкой поверхностью и почти все созревшие светло-коричневые плоды с морщинистой поверхностью утонули в море.

3. Плоды, после их опадения на землю и деструкции мягких слоев перикарпия или прошедшие через пищеварительный тракт животных, представляют собой косточки с сохранившимся твердым эндокарпием. В эксперименте они показали хорошую плавучесть, что связано с наличием зоны аэренхимы в семенной кожуре.

4. В плодах *C. inophyllum* были обнаружены отдельные клетки с жирными маслами, по-видимому, это жирные кислоты триацилглицеринов (ТАГ), ранее обнаруженные в семенах этих растений. В перикарпии идиобласты с жирными маслами найдены как в наружных слоях мезокарпия, так и – большее их количество – во внутренних слоях мезокарпия, особенно вокруг проводящих пучков.

5. Идентифицированы смоляные вместилища в мезокарпии *C. inophyllum*, преимущественно в более внутренних слоях клеток. По-видимому, это не чистые смолы, как у представителей хвойных, а жидкие смолы, смешанные с маслами.

6. Образование идиобластов с жирными маслами и смоляных вместилищ происходит в заключительные периоды формирования плода, когда прекращается фотосинтез в наружных клетках перикарпия и отток ассимилятов в семя из-за лигнификации стенок клеток эндокарпия.

7. Накопление вторичных метаболитов в виде жирных масел и смол в плодах имеет многоцелевое назначение: источник запасных веществ, фитонцидное действие для лучшей сохранности диаспор, привлечение животных для распространения плодов.

8. Созревающие плоды *C. inophyllum* из всех животных наиболее активно привлекают летучих мышей из рода *Pteropus* spp., которые, возможно, являются одними из главных распространителей этих растений на ближние расстояния.

9. Обнаруженные два морфологических типа эпикутикулярного воска – стилоиды и отдельные гранулы – можно рассматривать как

систематический видовой признак, так и, вместе с большим количеством воска, как физиологический признак, позволяющий плодам меньше смачиваться водой атмосферных осадков и морскими брызгами, что связано с экологией произрастания этих растений в прибрежных формациях.

10. Найденные морфолого-анатомические особенности строения плодов и заключенных в ней семян, особенности дозревания и перегнивания плодов показали биологическую возможность разных типов распространения генеративных диаспор *Calophyllum inophyllum*: цельных плодов на близкие расстояния с помощью животных, а деструктурированных плодов на дальние расстояния с помощью морских течений.

Библиографический список / References

Василевская В.К., Меликян А.П. О происхождении и основных направлениях эволюции плодов и семян покрытосеменных // Вестник Ленинградского ун-та. Сер. биол. 1982. Вып. 9. С. 23–30. [Vasilevskaya V.K., Melikian A.P. On the origin and main directions of evolution of angiosperm fruits and seeds. *Biological Communications*. 1982. Vol. 9. Pp. 23–30. (In Russ.)]

Гладкова В.Н. Семейство клузиевые (Clusiaceae) // Жизнь растений. 1981. Т. 5. № 2. С. 27–32. [Gladkova V.N. Family Clusiaceae. *Zhizn rasteniy*. 1981. Vol. 5. No. 2. Pp. 27–32. (In Russ.)]

Головкин Б.Н., Золкин С.Ю., Трофимова И.А. Медицинская ботаника. М., 2019. [Golovkin B.N., Zolkin S.Yu., Trofimova I.A. Meditsinskaya botanika [Medicinal Botany]. Moscow, 2019.]

Золкин С.Ю. Экспозиция прибрежных растений тропиков Старого Света в Новой Фондовой оранжерее Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН // Бюллетень Главного ботанического сада. 2014. Вып. 200. № 1. С. 3–9. [Zolkin S.Yu. Exposition of Old World seashore tropical plants in the new conservatory of the Main Botanical Garden RAS. *Byulleten Glavnogo botanicheskogo sada*. 2014. Vol. 200. No. 1. Pp. 3–9. (In Russ.)]

Кравцова Т.И., Романова В.О. Ультраскульптура поверхности перикарпия у видов трибы Sileneae (Caryophyllaeae) в связи с ее систематикой // Ботанический журнал. 2015. Т. 100. № 3. С. 209–225. [Kravtsova T.I., Romanova V.O. Ultrasculptura of pericarp surface in species of the tribe Sileneae (Caryophyllaceae) in relation to its systematics. *Botanicheskiy zhurnal*. 2015. Vol. 100. No. 3. Pp. 209–225. (In Russ.)]

Меликян А.П., Девятов А.Г. Основные карпологические термины. Справочник. М., 2001. [Melikian A.P., Devyatov A.G. Osnovnyye karpologicheskiye terminy [The basic carpological terms]. Directory. Moscow, 2001.]

Основы микротехнических исследований в ботанике: Справочное руководство / Барыкина Р.П., Веселова Т.Д., Девятов А.Г., и др. М., 2000. [Barykina R.P., Veselova T.D., Devyatov A.G. et al. Osnovy mikrotekhnicheskikh issledovaniy v botanike [Fundamentals of microtechnical research in Botany]. Moscow, 2000.]

Разумовский С.М. Ботанико-географическое районирование Земли как предпосылка успешной интродукции растений // Интродукция тропических

и субтропических растений. М., 1980. С. 10–27. [Razumovsky S.M. Botanical and geographical zoning of the World as a precondition for successful plant introduction. *Introduktsiya tropicheskikh i subtropicheskikh rastenii*. Moscow, 1980. Pp. 10–27. (In Russ.)]

Разумовский С.М. О границах ареалов и флористических линиях // Бюллетень Главного ботанического сада. 1969. Вып. 72. С. 20–28. [Razumovsky S.M. On the limits of the areals and floral lines. *Byulleten Glavnogo botanicheskogo sada.* 1969. Vol. 78. Pp. 20–28. (In Russ.)]

Разумовский С.М. Труды по экологии и биогеографии. М., 2011. [Razumovsky S.M. Trudy po ekologii i biogeografii [Works on ecology and biogeography]. Moscow, 2011.]

Созонова Л.И. Сочные масличные плоды. Закономерности развития и строения в связи с накоплением масла: Автореф. дис. … д-ра биол. наук. М., 1992. [Sozonova L.I. Sochnye maslichnye plody. Zakonomernosti razvitiya i stroeniya v svyazi s nakopleniem masla [Fleshy oil fruits. Regularities of development and structure in connection with the accumulation of oil]. Dr. Hab. theses. Moscow, 1992.]

Тахтаджян А.Л. Флористические области Земли. Л., 1978. [Takhtajan A.L. Floristicheskie oblasti Zemli [The floristic regions of the World]. Leningrad, 1966.]

Щабес Л.К., Морозова А.А. Семейство Clusiaceae // Сравнительная анатомия семян / Под рук. А.Л. Тахтаджяна. Л., 1991. Т. 3. С. 209–216. [Shabes L.K., Morozova A.A. Family Clusiaceae. *Sravnitelnaya anatomiya semyan*. A.L. Takhtajan (ed.). Leningrad, 1991. Vol. 3. Pp. 209–216. (In Russ.)]

An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2016. Vol. 181. No. 1. Pp. 1–20.

Aparamarta H.W., Qadariyah L., Gunawan S., Ju Y.-H. Separation and identification of fatty acid in triacylglycerol isolated from *Calophyllum inophyllum* oil. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. Vol. 13. No. 2. Pp. 442–451.

Bellwood P. The first farmers: The origins of agricultural societies. Oxford, 2005.

Corner E.J.H. The seed of dicotyledons. Cambridge, 1976.

Cuesta O., Kabani A.O., Alarcon A.B. et al. Antimicrobial assessment of resins from *Calophyllum antillanum* and *Calophyllum inophyllum. Phytotherapy Research*. 2015. Vol. 29. No. 12. Pp. 1991–1994.

Damon F.H. A Story of Calophyllum: From ecological to social facts. *Environmental Anthropology and Ethnobiology. Trees*, *Knots*, *and Outriggers: Environmental Knowledge in the Northeast Kula Ring*. Vol. 21. New York, 2017. Pp. 180–246.

Dweck A.C., Meadows T. Tamanu (*Calophyllum inophyllum*) – the African, Asian, Polynesian and Pacific Panacea. *International Journal of Cosmetic Science*. 2002. Vol. 24. Pp. 341–348.

Filho V.C., Meyre-Silva C., Niero R. Chemical and pharmacological aspects of the genus Calophyllum. *Chemistry & Biodiversity*. 2009. Vol. 6. No. 3. Pp. 313–327.

Gunawan S., Aparamarta H. W., Ju Y.-H. Utilization of *Calophyllum inophyllum* seed oil. *Seed oil: Production*, *Uses and Benefits.* N.K.D. Hong (ed.). New York, 2018. Pp. 111–144.

Gunawan S., Aparamarta H.W., Taufany F. et al. Separation and purification of triglyceride from nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) seed oil as biodiesel feedstock by using continuous countercurrent extraction. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*. 2020. Vol. 16. No. 1. Pp. 18–22.

Tomlinson P.B. The botany of mangroves. 2nd ed. Cambridge, 2016.

The Plant List (a working list of all plant species). 2013. URL: http://www.theplantlist.org (accessed: 15.10.2020)

Vaughan J.G. The structure and utilization of oil seeds. London, 1970.

Статья поступила в редакцию 15.09.2020, принята к публикации 23.11.2020
The article was received on 15.09.2020, accepted for publication 23.11.2020

Сведения об авторе / About the author

Золкин Сергей Юрьевич — кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории тропических растений, Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина РАН, г. Москва

Sergei Yu. Zolkin – PhD in Biology; Senior Reseacher at the Laboratory of Tropical Plants, N.V. Tsitsin Main Botanical Garden, Russian Academy of Sciences, Moscow

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5180-8673
E-mail: szolkin@mail.ru

Оригинальное исследование

DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-4-411-428

В.А. Чадаева, Г.А. Кярова

**Институт экологии горных территорий имени А.К. Темботова Российской академии наук,
360051 г. Нальчик, Российская Федерация**

Состояние ценопопуляций *Platanthera chlorantha* (Custer) Rchb. (Orchidaceae) в условиях антропогенной нагрузки на лесные и луговые фитоценозы Центрального Кавказа

В 2015–2019 гг. на территории Кабардино-Балкарской Республики изучены изменчивость морфологических признаков особей, возрастная структура и жизненность 10 ценопопуляций *Platanthera chlorantha* (Custer) Rchb. Исследования проведены в лесных и луговых фитоценозах при разном режиме антропогенной нагрузки (выпас скота, рекреация). Для вида характерен средний уровень фитоценотической пластичности (42–63%) и высокая внутривидовая изменчивость (в среднем 26,09%) морфологических признаков при изменении условий произрастания. В составе ненарушенных лугов и редколесий наблюдается интенсификация ростовых процессов особей с повышением жизненности ценопопуляций (индекс жизненности ценопопуляций 1,06–1,22). Усиление антропогенного воздействия и низкая инсоляция приводят к снижению жизненности ценопопуляций. Слабое возобновление и низкая плотность особей (0,04–0,52 шт./м^2) отмечены на лугах с высоким проективным покрытием травостоя и в лесах при низкой инсоляции или под влиянием вытаптывания. В возрастных спектрах таких ценопопуляций возрастает доля генеративных особей (37,4–73,5%). При произрастании вида в составе редколесий без признаков высокой антропогенной нагрузки повышаются показатели эффективности семенного возобновления (индекс восстановления 0,48–1,78) и плотности особей (1,27–5,41 шт./м^2).

© Чадаева В.А., Кярова Г.А., 2020
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License
The content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Ключевые слова: *Platanthera chlorantha*, ценопопуляция, изменчивость признаков, виталитет, возрастная структура ценопопуляции

Благодарности. Исследования проведены в рамках государственного задания № 075-00347-19-00 по теме «Закономерности пространственно-временной динамики луговых и лесных экосистем в условиях горных территорий (российский Западный и Центральный Кавказ)».

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ: Чадаева В.А., Кярова Г.А. Состояние ценопопуляций *Platanthera chlorantha* (Custer) Rchb. (Orchidaceae) в условиях антропогенной нагрузки на лесные и луговые фитоценозы Центрального Кавказа // Социально-экологические технологии. 2020. Т. 10. № 4. С. 411–428. DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-4-411-428

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-4-411-428

V.A. Chadaeva, G.A. Kyarova

Tembotov Institute of Ecology of Mountain Territories,
Russian Academy of Science,
Nalchik, 360051, Russian Federation

Population Status of *Platanthera chlorantha* (Custer) Rchb. (Orchidaceae) under anthropogenic load conditions in the forest and meadow phytocenoses of the Central Caucasus

Variation of morphological characters, ontogenetic structure and vitality of 10 cenopopulations of *Platanthera chlorantha* (Custer) Rchb. Were studied in Kabardino-Balkar Republic during 2015–2019. The studies were conducted in the forest and meadow plant communities under different conditions of anthropogenic load (grazing, recreation). The species presents medium phytocenotic plasticity of morphological characters (phytocenotic plasticity index 42–63%)

and high variation of morphological characters (average value of interpopulation variability of the traitsis 26.09%) under changeable conditions of growth. The intensification of growth processes in the individuals with the maximum increase of the cenopopulation vitality (vitality index of cenopopulations 1.06–1.22) is observed in the composition of undisturbed meadows and irregular forests. Under the intensification of the anthropogenic load and low insolation in forest, vitality of cenopopulations, the seed reproduction and the density of individuals (0.09–0.52 ind./m^2) decrease. Within the meadow with high total projective cover weak seed reproduction and the low density of cenopopulations (0.04–0.07 ind./m^2) are registered also. The portion of generative individuals in ontogenetic spectra of such cenopopulations is 37.4–73.5%. The seed reproduction (recovery index 0.48–1.78) and the density of individuals (1.27–5.41 ind./m^2) increase within the undisturbed irregular forests.

Key words: *Platanthera chlorantha*, cenopopulation, variation of characters, vitality, ontogenetic structure of cenopopulation

Acknowledgements. The studies were conducted within the framework of the State assignment № 075-00347-19-00 according to the theme "Regularities of spatio-temporal dynamics of the meadow and forest ecosystems under conditions of mountain territories (the Western and Central Caucasus of Russia)".

CITATION: Chadaeva V.A., Kyarova G.A. Population Status of *Platanthera chlorantha* (Custer) Rchb. (Orchidaceae) under anthropogenic load conditions in the forest and meadow phytocenoses of the Central Caucasus. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2020. Vol. 10. No. 4. Pp. 411–428. (In Russ.) DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-4-411-428

Введение

Выявление организменно-популяционных адаптаций к существующим эколого-ценотическим условиям на основе изучения изменчивости морфологических признаков особей, жизненности и возрастной структуры ценопопуляций редких видов растений позволяет дать оценку и спрогнозировать направления изменений современного состояния популяций под воздействием природных и антропогенных факторов. Одними из наиболее уязвимых растений мировой флоры являются представители семейства Orchidaceae Juss, природная редкость которых обусловлена специфическими особенностями биологии, чувствительностью к изменениям условий среды и узкой экологической валентностью [Вахрамеева, 2006; Стецук, 2006; Huda, Wilcock, 2008; Перебора, 2011; Fay, 2018; Favre-Godal et al., 2020 и др.]. Кроме того, виды орхидных повсеместно

подвержены заготовке подземных органов, сбору коллекционерами, обрыванию на букеты, а также нарушению мест произрастания.

Уязвимым видом семейства Orchidaceae Juss природной флоры Кабардино-Балкарской Республики является любка зеленоцветковая *Platanthera chlorantha* (Custer) Rchb. (рис. 1), занесенная в региональное издание Красной книги как редкий вид с естественной малой численностью [Красная…, 2018]. Это многолетнее растение с веретеновидными тубероидами, произрастающее в лесах, на опушках, сырых лугах на высоте 700–2500 м над уровнем моря [Шхагапсоев, 2015]. При этом местообитания *P. chlorantha* нередко подвержены рубке деревьев, выпасу скота, в том числе в лесных массивах, и вытаптыванию при рекреации. Отмечены также случаи заготовки подземных органов растений как лекарственного сырья.

Рис. 1. *Platanthera chlorantha* в сосновом лесу ущелья Юсеньги

Fig. 1. *Platanthera chlorantha* in the pine forest of the Yusengi gorge

Цель данной работы – изучить адаптивные реакции *P. chlorantha* на воздействие антропогенных факторов при произрастании на Центральном Кавказе (в границах Кабардино-Балкарской Республики). Задачи исследования: изучить изменчивость морфологических признаков особей, жизненность и возрастную структуру ценопопуляций *P. chlorantha* при разном режиме антропогенной нагрузки на растительный покров лесных и луговых фитоценозов.

Материалы и методы

Исследования проведены в лесных и луговых фитоценозах Кабардино-Балкарской Республики (центральная часть северного макросклона Большого Кавказа) в диапазоне высот 1300–2150 м над уровнем моря в долинах рек Баксан, Малка и в окрестностях оз. Гижгит (Былымская аридная котловина).

В период 2015–2019 гг. изучены 10 ценопопуляций вида на склонах крутизной 0–15° (табл. 1): ненарушенное сосновое и березовое редколесье с низкой сомкнутостью крон деревьев главных пород и развитым травяным покровом (ценопопуляция 1 (ЦП1) – окрестности сел. Терскол, ценопопуляция 4 (ЦП4) – окрестности гостиницы Иткол, ценопопуляция 6 (ЦП6) – окрестности сел. Эльбрус); ненарушенный сосновый лес с сомкнутостью крон 0,7–0,8 и общим проективным покрытием травостоя не более 10% (ценопопуляция 3 (ЦП3) – ущелье Юсеньги, ценопопуляция 5 (ЦП5) – окрестности сел. Тегенекли, ценопопуляция 8 (ЦП8) – ущелье Адыр-Су); вытаптываемое сосновое редколесье (ценопопуляция 2 (ЦП2) – окрестности поляны Чегет, ценопопуляция 7 (ЦП7) – ущелье Адыл-Су); ненарушенные луговые фитоценозы (ценопопуляция 9 (ЦП9) и ценопопуляция 10 (ЦП10) – окрестности оз. Гижгит и верховья р. Малка).

Возрастные состояния *Platanthera chlorantha* выделены на основе морфологических признаков надземных органов растений (без выкапывания особей) по общепринятой методике [Работнов, 1950; Уранов, 1975].

Возрастные спектры и демографические параметры ценопопуляций изучали на учетных площадках (20 квадратов по 1 м^2 в каждой ценопопуляции).

Онтогенетическую структуру ценопопуляции анализировали по критерию «Δ – ω» [Животовский, 2001] с использованием индекса восстановления $I_в$ [Жукова, 1995].

Оценка жизненности ценопопуляции дана с вычислением индекса *IVC* [Ишбирдин, Ишмуратова, 2004]. Для определения виталитета ценопопуляции и изменчивости признаков растений анализировали 11 морфологических параметров 30 средневозрастных генеративных особей в каждой ценопопуляции: высота побега и диаметр его основания, см; длина и ширина нижнего и верхнего листьев, см; диаметр цветоноса, см; высота и диаметр соцветия, см; число цветков в соцветии и число листьев на побеге, шт. В качестве показателей изменчивости признаков растений использовали фитоценотическую пластичность ($I_р$), индивидуальную ($CV_{ср}$, %) и внутривидовую изменчивость ($CV_{x-ср}$, %) [Злобин, 1989; Ишбирдин, Ишмуратова, Жирнова, 2005]. Уровни варьирования

ISSN 2500-2961

Таблица 1

Характеристика фитоценозов с произрастанием *Platanthera chlorantha*
[Characteristics of plant communities with *Platanthera chlorantha*]

Ценопопуляции [Cenopopulations]	Фитоценозы, нарушение [Plant communities, disturbance]	Высота над ур. м., м [Altitude a.s.l., m]	Проективное покрытие травостоя, % [Total plant projective cover, %]	Сомкнутость крон [Crown density]	Высота травостоя, см [Height plant, cm]
1	Ненарушенное березовое редколесье [Undisturbed irregular birch forest]	2150	60	0,3	20
2	Вытаптываемое сосновое редколесье [Trampled irregular pine forest]	2070	30	0,2	15
3	Ненарушенный сосновый лес [Undisturbed pine forest]	1850	5	0,8	5
4	Ненарушенное сосновое редколесье [Undisturbed irregular pine forest]	2050	40	0,3	15
5	Ненарушенный сосновый лес [Undisturbed pine forest]	1800	3	0,7	10
6	Ненарушенное сосновое редколесье [Undisturbed irregular pine forest]	1750	45	0,3	15
7	Вытаптываемое сосновое редколесье [Trampled irregular pine forest]	1750	50	0,2	15
8	Ненарушенный сосновый лес [Undisturbed pine forest]	2150	3	0,8	5
9	Ненарушенный остепненный луг [Undisturbed stepped meadow]	1300	100	0,0	30
10	Ненарушенный субальпийский луг [Undisturbed subalpine meadow]	1800	100	0,0	30

приняты по Г.Н. Зайцеву [Зайцев, 1990]: $CV > 20\%$ – высокий; $CV < 10\%$ – низкий; $CV = 11–20\%$ – средний. Первичный материал обработан с использованием пакетов программ Statistica 10, EXCEL.

Результаты и обсуждение

Platanthera chlorantha обладает средним уровнем фитоценотической пластичности признаков (I_p в среднем 0,52%), отражающей изменение средних значений морфологических параметров в разных условиях произрастания (табл. 2).

Общая индивидуальная изменчивость признаков вида, характеризующая морфологическую гетерогенность ценопопуляции, имеет низкий и средний уровни варьирования (табл. 3). Межпопуляционная изменчивость, определяющая габитуальные отличия растений разных ценопопуляций, напротив, в основном имеет высокий уровень ($CV_{x-ср}$ в среднем 26,09%). При этом наиболее изменчивый параметр, как и в предыдущем случае, – число цветков в соцветии, что, вероятно, является характерной биологической особенностью *P. chlorantha*. Соотношение значений ($CV_{ср} < CV_{x-ср}$) морфологических признаков также свидетельствует об их высокой вариабельности в разных условиях произрастания, соответственно биометрических параметры вида целесообразно использовать в качестве индикаторов соответствия среды его эколого-биологическим требованиям.

Эколого-ценотический градиент, характеризующий степень благоприятствования условий среды росту и развитию растений, формирует следующий ряд ценопопуляций: ЦП9 (*IVC* 1,22) – ЦП10 (1,19) – ЦП4 (1,12) – ЦП6 (1,08) – ЦП1 (1,06) – ЦП8 (0,92) – ЦП3 (0,88) – ЦП5 (0,85) – ЦП2 (0,80) – ЦП7 (0,77).

Оптимальные для роста и развития *P. chlorantha* условия складываются в ненарушенных луговых фитоценозах (ЦП9 и ЦП10, *IVC* 1,19–1,22). Благоприятными для реализации ростовых потенций вида являются также условия хорошо освещенных изреженных лесов без признаков высокой пастбищной и рекреационной нагрузки (ЦП1, ЦП4, ЦП6, *IVC* 1,06–1,12). Низкая инсоляция в нижнем ярусе ненарушенных лесов с высокой сомкнутостью крон, вероятно, способствует снижению параметров роста растений в ЦП3, ЦП5, ЦП8 (*IVC* 0,85–0,92). Однако к максимальному угнетению роста и развития особей приводят перевыпас скота и вытаптывание при рекреации в ЦП2 и ЦП7, произрастающих в нарушенном сосновом редколесье (*IVC* 0,77–0,80).

Результаты однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) подтверждают, что средние значения всех анализируемых морфологических

ISSN 2500-2961

Таблица 2

Фитоценотическая пластичность морфологических признаков *Platanthera chlorantha*
[Phytocenotic plasticity of *Platanthera chlorantha* morphological features]

Ценопопуляции [Cenopopulations]	Средние значения морфологических признаков [Average values of morphological features]							
	Высота побега, см [Height of the shoot, cm]	Диаметр основания побега, см [Diameter of base of the shoot, cm]	Длина листа, см [Length of the leaves, cm]	Ширина листа, см [Width of the leaves, cm]	Высота соцветия, см [Height of the inflorescence, cm]	Диаметр соцветия, см [Diameter of the inflorescence, cm]	Диаметр цветоноса, см [Diameter of the peduncle, cm]	Число цветков в соцветии, шт. [Number of flowers in the inflorescence, pcs.]
1	37,97 ± 2,61	0,46 ± 0,04	14,68 ± 1,38	4,96 ± 0,46	14,19 ± 1,14	4,85 ± 0,48	0,39 ± 0,04	18,27 ± 3,44
2	21,07 ± 2,99	0,32 ± 0,03	8,66 ± 1,18	3,35 ± 0,26	8,67 ± 1,38	3,48 ± 0,27	0,27 ± 0,02	9,70 ± 1,58
3	29,95 ± 3,73	0,38 ± 0,03	10,78 ± 1,97	4,02 ± 0,32	10,62 ± 1,94	3,95 ± 0,43	0,33 ± 0,03	11,77 ± 2,36
4	42,35 ± 2,81	0,50 ± 0,04	16,36 ± 1,99	5,26 ± 0,40	15,40 ± 1,08	5,12 ± 0,38	0,44 ± 0,04	22,97 ± 3,64
5	26,06 ± 3,20	0,36 ± 0,03	10,38 ± 1,34	3,80 ± 0,28	10,13 ± 1,66	3,75 ± 0,34	0,31 ± 0,03	11,87 ± 2,00
6	40,46 ± 2,73	0,44 ± 0,04	14,36 ± 1,94	4,76 ± 0,38	14,66 ± 1,06	4,83 ± 0,37	0,40 ± 0,04	19,70 ± 3,51
7	18,00 ± 3,03	0,27 ± 0,03	8,10 ± 1,12	3,06 ± 0,28	8,11 ± 1,30	3,12 ± 0,27	0,24 ± 0,02	9,93 ± 1,31
8	32,47 ± 3,86	0,41 ± 0,03	12,72 ± 1,83	4,40 ± 0,31	12,82 ± 1,93	4,41 ± 0,41	0,35 ± 0,03	13,20 ± 2,09
9	47,30 ± 3,52	0,50 ± 0,04	20,44 ± 2,71	5,63 ± 0,55	16,42 ± 1,44	5,36 ± 0,39	0,45 ± 0,04	26,27 ± 4,30
10	46,14 ± 3,35	0,48 ± 0,05	19,48 ± 2,43	5,25 ± 0,65	15,33 ± 1,23	5,09 ± 0,36	0,44 ± 0,04	24,00 ± 3,72
Показатель фитоценотической пластичности признака [Phytocenotic plasticity index]	0,62	0,46	0,60	0,46	0,51	0,42	0,47	0,63

Таблица 3

Коэффициенты изменчивости морфопризнаков *Platanthera chlorantha*
[Variability coefficients of *Platanthera chlorantha* morphological features]

Ценопопуляции [Cenopopulations]	Коэффициенты изменчивости морфологических признаков *CV*, % [Variability coefficients of morphological features *CV*, %]							
	Высота побега, см [Height of the shoot, cm]	Диаметр основания побега, см [Diameter of base of the shoot, cm]	Длина листа, см [Length of the leaves, cm]	Ширина листа, см [Width of the leaves, cm]	Высота соцветия, см [Height of the inflorescence, cm]	Диаметр соцветия, см [Diameter of the inflorescence, cm]	Диаметр цветоноса, см [Diameter of the peduncle, cm]	Число цветков в соцветии, шт. [Number of flowers in the inflores-cence, pcs.]
1	6,88	8,57	9,39	9,32	8,02	9,87	9,57	18,85
2	14,18	8,73	13,61	7,66	15,93	7,82	9,03	16,28
3	12,47	7,52	18,23	8,09	18,26	11,00	9,51	20,05
4	6,63	8,02	12,14	7,57	7,00	7,35	10,14	15,86
5	12,29	6,96	12,92	7,30	16,40	9,16	9,88	16,82
6	6,76	9,51	13,50	7,96	7,26	7,69	11,20	17,84
7	16,81	9,42	13,79	9,04	16,02	8,56	8,48	13,20
8	11,89	7,35	14,35	7,03	15,03	9,38	8,10	15,84
9	7,43	8,68	13,26	9,77	8,79	7,26	9,77	16,40
10	7,25	9,52	12,48	12,45	8,04	7,14	10,19	15,51

ISSN 2500-2961

Окончание табл. 3

Ценопопуляции [Cenopopulations]	Коэффициенты изменчивости морфологических признаков *CV*, % [Variability coefficients of morphological features *CV*, %]							
	Высота побега, см [Height of the shoot, cm]	**Диаметр основания побега, см [Diameter of base of the shoot, cm]**	**Длина листа, см [Length of the leaves, cm]**	**Ширина листа, см [Width of the leaves, cm]**	**Высота соцветия, см [Height of the inflorescence, cm]**	**Диаметр соцветия, см [Diameter of the inflorescence, cm]**	**Диаметр цветоноса, см [Diameter of the peduncle, cm]**	**Число цветков в соцветии, шт. [Number of flowers in the inflorescence, pcs.]**
Внутрипопуляционная изменчивость признаков, % [Individual variability of the traits, %]	10,26	8,43	13,37	8,62	12,08	8,52	9,59	16,67
Межпопуляционная (внутривидовая) изменчивость признаков, % [Interpopulation variability of the traits, %]	30,11	19,87	32,76	20,67	25,40	18,77	21,69	39,42

параметров растений достоверно отличаются в ценопопуляциях четырех независимых групп (ЦП1, ЦП4, ЦП6; ЦП2, ЦП7; ЦП3, ЦП5, ЦП8; ЦП9, ЦП10) (табл. 4).

Таблица 4

Результаты однофакторного дисперсионного анализа морфологических признаков *Platanthera chlorantha* четырех независимых групп ценопопуляций [Results of One-Way Analysis of Variation of *Platanthera chlorantha* morphological features for four independent groups of cenopopulations]

Параметры [Morphological features]	Критерий Фишера [Fisher criterion]	Вероятность нулевой гипотезы [Probability of null hypothesis]
Высота побега, см [Height of the shoot, cm]	**51,28**	**0,0001**
Диаметр основания побега, см [Diameter of shoot base, cm]	**22,24**	**0,0012**
Длина листа, см [Length of the leaves, cm]	**52,29**	**0,0001**
Ширина листа, см [Width of the leaves, cm]	**29,97**	**0,0005**
Высота соцветия, см [Height of the inflorescence, cm]	**27,40**	**0,0007**
Диаметр соцветия, см [Diameter of the inflorescence, cm]	**26,28**	**0,0008**
Диаметр цветоноса, см [Diameter of the peduncle, cm]	**34,56**	**0,0004**
Число цветков в соцветии, шт. [Number of flowers, pcs]	**43,24**	**0,0002**

Примечание. Независимые группы (выделены по уровню индекса жизненности ценопопуляции): 1) ЦП1, ЦП4, ЦП6; 2) ЦП2, ЦП7; 3) ЦП3, ЦП5, ЦП8; 4) ЦП9, ЦП10. Выделенные полужирным значения достоверны при уровне значимости $p < 0,05$.

[*Note.* Independent groups (identified by the level of the vitality index of the cenopopulation): 1) cenopopulations 1, 4, 6; 2) cenopopulations 2, 7; 3) cenopopulations 3, 5, 8; 4) cenopopulations 9, 10.
Values highlighted in bold are reliable at a significance level of $p < 0.05$.]

Кроме того, согласно результатам попарного апостериорного сравнения средних значений морфологических признаков по критерию Фишера (Fisher LSD), все четыре группы (группа 1 – ЦП1, ЦП4, ЦП6; группа 2 – ЦП2, ЦП7; группа 3 – ЦП3, ЦП5, ЦП8; группа 4 – ЦП9, ЦП10) попарно отличаются друг от друга ($p < 0,05$) (табл. 5).

Таблица 5

Результаты расчета критерия Фишера (Fisher LSD) при попарном апостериорном сравнении четырех групп ценопопуляций [Results of Fisher LSD Test in pairwise posteriori comparison of four independent groups of cenopopulations]

Группы ценопопуляций [Groups of cenopopulations]	1 *M* = 40,26	2 *M* = 19,53	3 *M* = 29,49	4 *M* = 46,72
1 (ЦП1, ЦП4, ЦП6) [1 (cenopopulations 1, 4, 6)]	–	**0,000088**	**0,001678**	**0,027576**
2 (ЦП2, ЦП7) [2 (cenopopulations 2, 7)]	**0,000088**	–	**0,004283**	**0,000032**
3 (ЦП3, ЦП5, ЦП8) [3 (cenopopulations 3, 5, 8)]	**0,001678**	**0,000002**	–	**0,000249**
4 (ЦП9, ЦП10) [4 (cenopopulations 9, 10)]	**0,027576**	**0,000032**	**0,000249**	–

Примечание. Группы ценопопуляций выделены по уровню индекса жизненности ценопопуляции. *M* – значение среднего статистического группы. Выделенные полужирным значения достоверны при уровне значимости $p < 0,05$.

[*Note*. Independent groups identified by the level of the vitality index of the cenopopulation. *M* – average values for groups. Values highlighted in bold are reliable at a significance level of $p < 0.05$.]

Таким образом, положительное влияние на рост и развитие *Platanthera chlorantha* как светолюбивого вида [Перебора, 2008] оказывает высокий уровень инсоляции, характерный для изреженных лесов и луговых экосистем (ЦП1, ЦП4, ЦП6 и ЦП9, ЦП10). Механические повреждения надземных органов, нарушение минерального питания растений при вытаптывании и переуплотнении почв, сопровождающие перевыпас скота и интенсивную рекреационную нагрузку, приводят к выраженному снижению средних значений всех исследуемых морфологических признаков особей (ЦП2, ЦП7).

В большом жизненном цикле *P. chlorantha*, согласно ранее проведенным исследованиям онтогенеза вида [Вахрамеева, Загульский, 1995], выделены шесть возрастных состояний: ювенильные (j), имматурные (im), виргинильные (v), молодые, средневозрастные и старые генеративные (g1, g2, g3) растения. Численность протокормов с подземным образом жизни не изучали. Для вида отмечены редкие случаи вегетативного размножения в генеративном периоде с образованием виргинильной дочерней особи, что определяет преимущественно семенной способ

возобновления ценопопуляции, характерный для тубероидных орхидных [Перебора, 2008].

Базовый (характерный) возрастной спектр *Platanthera chlorantha*, позволяющий выделить общие закономерности, повторяющиеся в возрастной структуре отдельных ценопопуляций, нормальный, с пиком на генеративной группе (43,17%) и повышающейся долей особей в каждой последующей возрастной группе прегенеративного периода: 8,55% ювенильных, 17,9% имматурных, 30,38% виргинильных растений (рис. 2). Соответственно, для *P. chlorantha* в целом характерно стабильное семенное возобновление при наличии собственных источников семян.

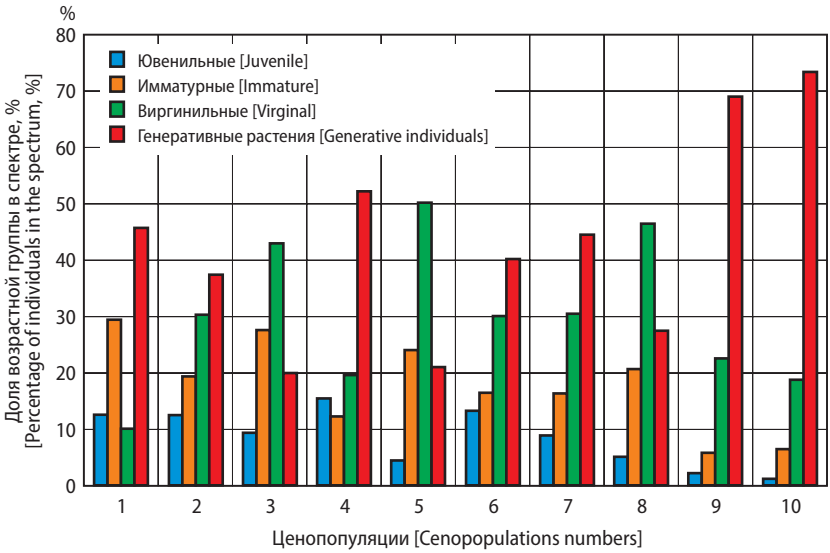


Рис. 2. Возрастные спектры ценопопуляций *Platanthera chlorantha*

Fig. 2. Ontogenetic spectra of *Platanthera chlorantha* cenopopulations

Особенности возрастной структуры отдельных ценопопуляций вида во многом определяются наличием фитоценотических конкурентов (луговые сообщества), степенью антропогенной нагрузки, уровнем инсоляции в лесных фитоценозах, косвенным показателем которого является сомкнутость крон древостоя. В осветленных изреженных сосновых и березовых лесах при распространении в нижних ярусах луговой растительности частные возрастные спектры зрелых ЦП1, ЦП4 и переходной ЦП6 приближены к базовому с высокой долей генеративных

ISSN 2500-2961

Таблица 6

Демографические показатели ценопопуляций *Platanthera chlorantha*
[Demographic indicators of *Platanthera chlorantha* cenopopulations]

Ценопопуляции [Cenopopulations]	Площадь ценопопуляции, м^2 [Area of cenopopulations, m^2]	Численность ценопопуляций, шт. [Amount of cenopopulations, ind.]	Плотность ценопопуляции, шт./м^2 [Density of cenopopulations, ind./m^2]	Индекс восстановления [Index of renewal]	Доля генеративных особей, % [Percentage of generative individuals, %]			Индекс возрастности [Indix of age]	Индекс эффективности [Indices of efficiency]	Тип ценопопуляции [Type of cenopopulation]
					g1	g2	g3			
1	600	1944	3,24	1,037	22,4	58,7	18,9	0,44	0,73	Зрелая [Mature]
2	1200	624	0,52	0,192	25,7	63,2	11,1	0,35	0,61	Молодая [Young]
3	900	54	0,06	0,031	55,8	38,7	5,5	0,16	0,38	Молодая [Young]
4	460	2488	5,41	1,783	29,5	52,5	18	0,47	0,80	Зрелая [Mature]
5	860	129	0,15	0,068	48,4	31,3	20,3	0,17	0,42	Молодая [Young]
6	1300	1651	1,27	0,481	28,9	48,7	22,4	0,37	0,65	Переходная [Near mature]
7	900	396	0,44	0,188	30,3	52,3	17,4	0,44	0,71	Зрелая [Mature]
8	800	72	0,09	0,034	48,5	40,4	11,1	0,25	0,53	Молодая [Young]
9	900	36	0,04	0,001	12,3	63,9	23,8	0,53	0,85	Зрелая [Mature]
10	400	28	0,07	0,002	16,1	57,7	26,2	0,56	0,89	Стареющая [Aging]

(40,2–52,3%) и ювенильных (12,5–15,6%) растений, что свидетельствует о стабильном семенном возобновлении (индекс восстановления 0,48–1,78) и обеспечивает максимальные показатели плотности особей (см. рис. 2, табл. 6).

С возрастанием антропогенной нагрузки на растительный покров возрастные спектры ЦП2, ЦП7 остаются нормальными при некотором накоплении доли виргинильных особей (30%), однако эффективность семенного возобновления (индекс восстановления 0,19) и плотность растений (0,44–0,52 шт./м^2) уменьшаются.

В составе ненарушенных лесных фитоценозов с сомкнутой кроной плотность особей в молодых ценопопуляцих (ЦП3, ЦП5, ЦП8) еще ниже (всего 0,06–0,15 шт./м^2), как и доля генеративных (20–27,5%) и ювенильных (4,4–9,5%) растений в возрастных спектрах. Накопление виргинильных особей (42,9–50,3%), вероятно, связано с низкими темпами развития молодых растений на ресурсо- и энергозатратном этапе формирования генеративных органов в неблагоприятных условиях освещения.

На ненарушенных лугах с высокой сомкнутостью травостоя в возрастных спектрах зрелой ЦП9 и стареющей ЦП10 отмечена максимальная доля особей генеративного периода (69,2–73,5%) при минимальных показателях эффективности семенного возобновления и плотности растений, что, вероятно, обусловлено угнетением молодых особей *Platanthera chlorantha* со стороны растений сопутствующих видов – доминантов растительного покрова (*Festuca varia* Haenke, *Bromopsis variegata* (M. Bieb.) Holub, *Helictotrichon pubescens* (Huds.) Pilg., *Koeleria macrantha* (Ledeb.)).

Заключение

Для *Platanthera chlorantha* в целом характерен средний уровень пластичности (42–63%) и высокая изменчивость морфологических признаков особей (в среднем 26,09%) при изменении условий произрастания, что свидетельствует о высоком адаптивном потенциале вида при произрастании в составе луговых и лесных экосистем Центрального Кавказа. Наиболее благоприятными для роста и развития растений являются условия ненарушенных луговых фитоценозов и редколесий с высоким уровнем инсоляции. При интенсивной антропогенной нагрузке (рекреация, перевыпас скота) и низкой освещенности в нижних ярусах леса происходит снижение жизненности ценопопуляции: значения индекса жизненности ценопопуляции уменьшаются от 1,06–1,22 в ненарушенных хорошо освещенных местообитаниях до 0,85–0,92 в затененных и до 0,77–0,80 – в нарушенных лесах.

В составе ненарушенных лугов с сомкнутым травостоем для *Platanthera chlorantha* характерно слабое семенное возобновление и выраженное старение ценопопуляции с минимальной плотностью особей (всего 0,04–0,07 шт./м^2). При слабой инсоляции в лесных фитоценозах, напротив, возрастает доля растений прегенеративного периода (72,5–80%), однако плотность особей остается низкой (0,06–0,15 шт./м^2). Наиболее благоприятные условия для семенного возобновления ценопопуляций складываются при произрастании вида в составе редколесий без признаков высокой антропогенной нагрузки (плотность особей 1,27–5,41 шт./м^2, индекс восстановления ценопопуляций 0,48–1,78).

Таким образом, реакция *P. chlorantha* на организменно-популяционном уровне на вытаптывание при рекреации и выпас скота в лесных массивах проявляется в снижении виталитета ценопопуляций и менее выраженном угнетении процессов возобновления. В то же время антропогенные факторы, приводящие к осветлению лесов, создают благоприятные условия для роста, размножения особей и самоподдержания ценопопуляций *P. chlorantha*. Основной причиной редкости вида в Кабардино-Балкарской Республике, вероятно, является узколокальность произрастания популяций, а мерой охраны, в первую очередь, является недопущение сбора растений на букеты, заготовки подземных органов в качестве лекарственного сырья, а также выпаса скота в лесных массивах.

Библиографический список / References

Вахрамеева М.Г. Онтогенез и динамика популяций *Dactylorhiza Fuchsii* (Orchidaceae) // Ботанический журнал. 2006. Т. 91. № 11. С. 1683–1695. [Vakhrameeva M.G. Ontogenesis and populations dynamics of *Dactylorhiza Fuchsii* (Orchidaceae). *Botanicheskii zhurnal*. 2006. Vol. 91. No. 11. Pp. 1683–1695. (In Russ.)]

Вахрамеева М.Г., Загульский М.Н. Любка зеленоцветная // Биологическая флора Московской области. 1995. Вып. 11. С. 117–131. [Vakhrameeva M.G., Zaugolskii M.N. *Platanthera chlorantha*. *Biologicheskaya flora Moskovskoy oblasti*. 1995. Vol. 11. Pp. 117–131. (In Russ.)]

Животовский Л.А. Онтогенетические состояния, эффективная плотность и классификация популяций // Экология. 2001. № 1. С. 3–7. [Zhivotovskii L.A. Ontogenetic state, effective density and classification of plant population. *Russian Journal of Ecology*. 2001. Vol. 32, No. 1. Pp. 3–7. (In Russ.). DOI: 10.1023/A:1009536128912]

Жукова Л.А. Популяционная жизнь луговых растений. Йошкар-Ола, 1995. [Zhukova L.A. Populyatsionnaya zhizn lygovykh rasteniy [Population lives of meadow plants]. Ioshkar-Ola, 1995.]

Зайцев Г.Н. Математика в экспериментальной биологии. М., 1990. [Zaytsev G.N. Matematika v eksperimentalnoy biologii [Mathematics in experimental biology]. Moscow, 1990.]

Злобин Ю.А. Теория и практика оценки виталитетного состава ценопопуляций растений // Ботанический журнал. 1989. Т. 74. № 6. С. 769–781. [Zlobin Y.A. Theory and practice of evaluation of vitality structure of plants cenopopulaitions. *Botanicheskii Zhurnal*. 1989. Vol. 74. No. 6. Pp. 769–781. (In Russ.)]

Ишбирдин А.Р., Ишмуратова М.М. Адаптивный морфогенез и эколого-ценотические стратегии выживания травянистых растений // Материалы VII Всероссийского популяционного семинара «Методы популяционной биологии». Сыктывкар, 2004. С. 113–120. [Ishbirdin A.R., Ishmuratova M.M. Adaptive morphogenesis and eco-cenotic survival strategies of herbaceous plants. *Materialy VII Vserossiyskogo populyatsionnogo seminara "Metody populyatsionnoy biologii"*. Syktyvkar, 2004. Pp. 113–120. (In Russ.).]

Ишбирдин А.Р., Ишмуратова М.М., Жирнова Т.В. Стратегии жизни ценопопуляции *Cephalanthera rubra* (L.) Rich. на территории Башкирского государственного заповедника // Материалы VIII Всероссийского популяционного семинара «Популяции в пространстве и времени». Нижний Новгород, 2005. С. 85–98. [Ishbirdin A.R., Ishmuratova M.M., Zhirnova T.V. Vital strategy of cenopopulations *Cephalanthera rubra* (L.) Rich. on the territory of the Bashkir State Reserve. *Materialy VIII Vserossiyskogo populyatsionnogo seminara "Populyatsii v prostranstve i vremeni"*. Nizhniy Novgorod, 2005. Pp. 85–98. (In Russ.)]

Красная книга Кабардино-Балкарской Республики. Нальчик, 2018. [Krasnaya kniga Kabardino-Balkarskoy Respubliki [Red Book of the Kabardino-Balkar Republic]. Nalchik, 2018.]

Перебора Е.А. Особенности развития некоторых тубероидных орхидных в условиях Северо-Западного Кавказа // Экологический вестник Северного Кавказа. 2008. Т. 4. № 2. С. 106–124. [Perebora E.A. Features of the development of some tuberoid orchids in the Northwest Caucasus. *Ecologicheskiy vestnik Severnogo Kavkaza*. 2008. Vol. 4. No. 2. Pp. 106–124. (In Russ.)]

Перебора Е.А. Экология орхидных Северо-Западного Кавказа. Краснодар, 2011. [Perebora E.A. Ekologiya orkhidnykh Severo-Zapadnogo Kavkaza [Ecology of orchids in the Northwest Caucasus]. Krasnodar, 2011.]

Работнов Т.А. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах // Труды БИН АН СССР. Серия 3. Геоботаника. 1950. Вып. 6. С. 7–204. [Rabotnov T.A. The life cycle of perennial herbaceous plants in meadow cenoses. *Trudy BIN AN SSSR. Seria 3. Geobotanika*. Vol. 6. Pp. 7–204. (In Russ.)]

Стецук Н.П. Основные механизмы устойчивости ценопопуляций некоторых видов орхидных Южного Приуралья // Вестник Оренбургского государственного университета. 2006. Т. 4. С. 93–96. [Stecuk N.P. The main stability mechanisms of some orchid species coenopopulations in the Southern Urals. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2006. Vol. 4. Pp. 93–96. (In Russ.)]

Уранов А.А. Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов // Научные доклады высшей школы. Биологические науки. 1975. Вып. 2. С. 7–34. [Uranov A.A. The age range of phitopopulations as a function of time and energy wave processes. *Nauchnye doklady vysshei shkoly. Biologicheskie nauki*. 1975. No. 2. Pp. 7–34. (In Russ.)]

Шхагапсоев С.Х. Растительный покров Кабардино-Балкарии. Нальчик, 2015. [Shkhagapsoev S.Kh. Rastitelnyy pokrov Kabardino-Balkarii [Vegetation cover of Kabardino-Balkaria]. Nalchik, 2015.]

Favre-Godal Q., Gourguillon L., Lordel-Madeleine S. et al. Orchids and their mycorrhizal fungy: An insufficiently explored relationship. *Micorrhiza*. 2020. No. 30. Pp. 5–22. DOI: 10.1007/s00572-020-00934-2

Fay M.F. Orchids conservation: How can we meet the challenges in the twenty-first centry? *Botanical Studies*. 2018. No. 59. Article number 16. DOI: 10.1186/s40529-018-0232-z

Huda M.K., Wilcock C.C. Impact of floral traits on the reproductive success of epiphytic and terrestrial tropical orchids. *Oecologia.* 2008. No. 154. Pp. 731–741. DOI:10.1007/s00442-007-0870-4

Статья поступила в редакцию 19.05.2020, принята к публикации 20.09.2020
The article was received on 19.05.2020, accepted for publication 20.09.2020

Сведения об авторах / About the authors

Чадаева Виктория Александровна – доктор биологических наук; заведующая лабораторией геоботанических исследований, Институт экологии горных территорий имени А.К. Темботова РАН, г. Нальчик, Российская Федерация

Victoria A. Chadaeva – Dr. Hab. in Biology; Head at the Laboratory for Geobotanical Researches, Tembotov Institute of Ecology of Mountain Territories of Russian Academy of Science, Nalchik, Russian Federation

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0788-1395
E-mail: v_chadayeva@mail.ru

Кярова Галина Анатольевна – научный сотрудник лаборатории горного природопользования, Институт экологии горных территорий имени А.К. Темботова РАН, г. Нальчик, Российская Федерация

Galina A. Kyarova – Researcher at the Laboratory for Mountain Nature Management, Tembotov Institute of Ecology of Mountain Territories of Russian Academy of Science, Nalchik, Russian Federation

E-mail: gkiarova@mail.ru

Заявленный вклад авторов

В.А. Чадаева – организация исследования, анализ и интерпретация результатов

Г.А. Кярова – проведение исследования, анализ результатов, обзор литературы

Contribution of the authors

V.A. Chadaeva – survey organization, analysis and interpretation of the results

G.A. Kyarova – survey organization, analysis of the results, literature review on research

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи
All authors have read and approved the final manuscript

Социально-экологические технологии
2020. Т. 10. № 4

Оригинальное исследование

DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-4-429-446

М.В. Казакова, А.Д. Пастушенко

**Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина,
390000 г. Рязань, Российская Федерация**

Мемориальный парк героев 1812 года – объект ландшафтно-исторического и природного наследия города Рязани

История одного из трех существующих в Рязани старых парков – Мемориального парка героев Отечественной войны 1812 года – начинается в середине XIX в. посадкой деревьев липы сердцелистной (*Tilia cordata*) в память о раненых воинах, лечившихся в лазарете при с. Голенчино. В нем сохранились старые посадки липовых, дубовых аллей 140–150-летнего возраста. Изучена растительность на площади 6,09 га. В древесном ярусе представлено более 400 экземпляров деревьев 14 видов. 62% из них отнесены по жизненному состоянию к категории 2 (ослабленные), 27% – к категории 1 (деревья без признаков повреждений). Сравнение биоразнообразия древесных пород этого парка с парком в центре города по индексу Шеннона дало значения 1,92 для мемориального парка и 2,66 для Верхнего-Нижнего парка; равномерность участия выявленных видов оценена по индексу Симпсона, соответственно 0,43 и 0,22. Несколько сниженное биоразнообразие и высокое доминирование липы отмечено в мемориальном парке, более равномерные характеристики показаны для центрального парка. Предложено 5 исторических деревьев (4 дуба и 1 ясень) для внесения в Реестр уникальных деревьев г. Рязани.

© Казакова М.В., Пастушенко А.Д., 2020
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License
The content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Ключевые слова: Рязань, городской парк, дендрология, старовозрастные деревья

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ: Казакова М.В., Пастушенко А.Д. Мемориальный парк героев 1812 года – объект ландшафтно-исторического и природного наследия города Рязани // Социально-экологические технологии. 2020. Т. 10. № 4. С. 429–446. DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-4-429-446

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-4-429-446

M.V. Kazakova, A.D. Pastushenko

Ryazan State University named for S. Yesenin,
Ryazan, 390000, Russian Federation

Memorial Park of the Heroes of the Patriotic War of 1812 as an object of the landscape-historical and natural heritage of Ryazan

The history of the Memorial Park of the Heroes of the Patriotic War of 1812 begins in the middle of the 19th century with the planting of *Tilia cordata* trees in memory of the wounded soldiers who were treated in the hospital at the Golenchino village. There are old linden and oak alleys that are140–150 years old there. Park vegetation was studied on an area of 6.09 hectares. More than 400 examples of 14 tree species were studied. 62% of them are classified as category 2 in terms of their vital status (weakened), 27% – category 1. The biodiversity of tree species in the park was compared with the park in the city center according to the Shannon index – 1.92 against 2.66 for the Verkhne-Nizhniy park; the uniformity of participation of the identified species by the Simpson index, respectively, 0.43 and 0.22. Somewhat reduced biodiversity and a high dominance of linden are noted in the memorial park and more uniform characteristics are shown for the central park. Five historical trees (4 oaks and 1 ash) were proposed for inclusion in the Register of Unique Trees of Ryazan.

Key words: Ryazan, city park, dendrology, historical trees

CITATION: Kazakova M.V., Pastushenko A.D. Memorial Park of the Heroes of the Patriotic War of 1812 as an object of the landscape-historical and natural heritage of Ryazan. *Environment and Human: Ecological Studies.* 2020. Vol. 10. No. 4. Pp. 429–446. (In Russ.) DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-4-429-446

Мониторинг городских зеленых зон и оценка состояния древесных насаждений – важнейшие направления работ по сохранению городского зеленого щита [Якубов, 2006; Березуцкий, Панин, 2007; Фатьянова, Антонова, 2014; Рысин и др., 2015], городских особо ценных природных и культурно-исторических территорий [Полякова, Швецов, 2007]. В Москве, Санкт-Петербурге и ряде других крупных городов создана система стационарных площадок, участков для проведения мониторинга. В Рязани о таких площадках говорить пока рано. Сотрудники лаборатории по изучению и охране биоразнообразия Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина с 2012 г. проводят инвентаризацию дендрофлоры города, ее исторических зеленых зон [Казакова, Бучкова и др., 2015; Kazakova, 2015; Kazakova, Beloshenkova, 2015; Казакова, Белошенкова, 2017а, б; Казакова, Пастушенко, 2020] и старовозрастных насаждений [Казакова, Белошенкова, 2017]. Начиная с 2015 г. ведется база данных старовозрастных деревьев г. Рязани. Актуальность этих исследований вызвана активной застройкой в последние годы исторических уголков города с вырубкой ценных зеленых насаждений.

Начиная с 2017 г. Рязань включилась в реализацию федерального проекта «Формирование комфортной городской среды» (Постановление администрации г. Рязани от 12.05.2017 г. № 1833 «Об утверждении муниципальной программы «Формирование современной городской среды города Рязани» на 2018–2022 гг.), в рамках которого благоустраиваются скверы и парки в разных районах города. В основном это недавно созданные парки и скверы с молодыми посадками: парк Скобелева, Комсомольский парк, парк имени Ю.А. Гагарина, сквер в районе Керамзавода, Мамин сквер и др.

Исторических парков в Рязани лишь три – это Центральный парк культуры и отдыха, комплекс Верхнего и Нижнего парков и Мемориальный парк героев Отечественной войны 1812 года. Первые два парковых ансамбля постоянно находятся в сфере внимания органов благоустройства города, тогда как Мемориальный парк героев Отечественной войны 1812 года в начале XXI в. оказался под угрозой вырубки и превращения его остатков в несанкционированную свалку.

Однако Мемориальный парк героев Отечественной войны 1812 года имеет важное историко-мемориальное и природно-рекреационное значение [Канаев, Корниенко, 2020], хотя до сих пор лишь обсуждается вопрос о присвоении ему официального статуса мемориального парка.

В нем представлено более 400 деревьев 14 видов возрастом от 30 до 170 лет, включая многочисленные экземпляры липы сердцелистной (*Tilia cordata* Mill.), дуба черешчатого (*Quercus robur* L.), ясеня высокого (*Fraxinus excelsior* L.), вяза гладкого (*Ulmus laevis* Pall.), клена остролистного (*Acer platanoides* L.). В настоящее время парк находится в состоянии автономно существующего небольшого лесопарка. В связи с необходимостью получения характеристики его растительности в 2019 и 2020 гг. был проведен ряд исследований, результаты которых представлены в статье.

История и общее описание изучаемой территории

Рязань в современных своих границах размещена на территории площадью 196,09 км^2, ее население превышает 500 тыс. человек. Город расположен на правом берегу р. Оки и имеет богатую историю. В настоящее время территорию города составляет не только многовековой исторический центр, но и огромные площади, некогда занятые широколиственными лесами, сельскими поселениями и сельскохозяйственными угодьями. На современной карте города (рис. 1) территория исследуемого мемориального парка (отмечена стрелкой), находится в центральной части Рязани. Однако в XIX в. Рязань была небольшим губернским городом, границы которого соответствуют ее нынешнему историческому центру.

В XIX в. территория изученного парка находилась в пригороде – это были земли с. Голенчино: лес, усадьбы, пашни и луга (Земли села Голенчино. Карта // Государственный архив Рязанской области. Ф. 892. Оп. 1. Д. 100. Л. 1. 1771 г. (копия)). Очевидно, участник войны 1812 г. майор П.Н. Маслов и его жена А.А. Маслова, купившие в начале XIX в. часть села, разместили на своих землях к востоку от него лазарет для раненых солдат и офицеров. По рассказам местных жителей, на месте лазарета в середине XIX в. в память о героях Отечественной войны 1812 г., лечившихся в лазарете, высаживались липы. Так был создан мемориальный парк как свидетельство огромного вклада рязанцев в победу в той первой Отечественной войне [Канаев, Корниенко, 2020]. Несомненно, в создаваемом парке возобновлялись и другие местные

породы, не исключена и посадка некоторых из них, в первую очередь, это дуб, ясень высокий, вяз гладкий, клен остролистный. Уже во второй половине XIX в. рядом с парком был построен комплекс зданий городской психиатрической больницы (рис. 2, 3), вокруг которых также были высажены аллеи из дуба и липы.

Рис. 1. Современный контур г. Рязани с выделенными зелеными зонами [Соболев, Казакова, 2007].

Черной прерывистой линией обозначена граница Рязани в конце XIX в. Стрелкой показано расположение изученного парка

Fig. 1. The modern outline of Ryazan with highlighted green zones [Sobolev, Kazakova, 2007].

The black dashed line marks the border of Ryazan at the end of the 19th century. The arrow shows the location of the park under consideration

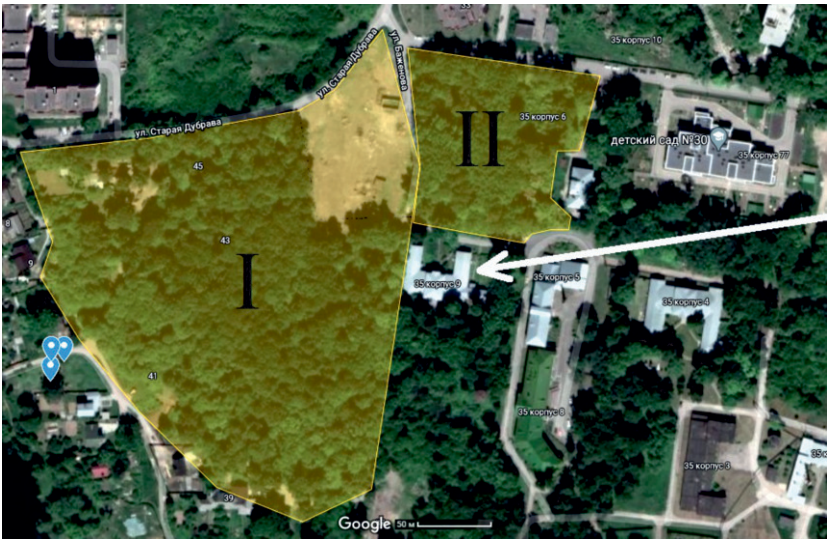


Рис. 2. Мемориальный парк (контуры I–II).

Слева за пределами парка – 3 маркера, указывающие на размещение ценных старовозрастных лиственниц; справа от парка стрелкой показано историческое здание психиатрической больницы;
II – часть исторического парка на территории больницы

Fig. 2. Memorial Park of the Heroes of 1812 (contours I– II).

To the left outside the park – 3 markers indicating the placement of valuable historical larches; to the right of the park, an arrow shows the historic building of a psychiatric hospital; II – part of the historic park on the territory of the hospital

Вплоть до 1950-х гг. окрестности с. Голенчино оставались пригородом Рязани. С расширением городской территории до современных границ земли самого села, парка и больницы вошли в городскую территорию. В 1971 г. Решением Рязанского облисполкома № 251 от 27.08.1971 г. парк площадью около 4 га был внесен в список памятников истории и культуры местного значения; его номер на Публичной кадастровой карте 62:29:0090042:212.

Остатки старых липовых аллейных посадок и разновозрастные деревья других лиственных пород 100–170-летнего возраста указывают на длительную историю формирования современного видового состава и облика древесных насаждений. Участки парка, в которых отмечено более 20 крупных экземпляров березы бородавчатой (*Betula*

pendula Roth.) и осины (*Populus tremula* L.) указывают на то, что 70–80 лет назад на данной территории имелись открытые участки, пригодные для групповых посадок (или самовозобновления) этих светолюбивых пород. Близость территории к р. Поскакуше, на которой стоит с. Голенчино, объясняет наличие в парке старовозрастных и более молодых деревьев вяза гладкого (*Ulmus laevis*), характерного для речных долин, а также высокоствольных экземпляров ясеня высокого (*Fraxinus excelsior*).

Рис. 3. Историческое здание психиатрической больницы Рязани

Fig. 3. The historic building of Ryazan psychiatric hospital

За последние 40 лет облик исторического парка постепенно приобрел черты лесопарка, местами труднопроходимого из-за крупного валежа старых деревьев и мусора. Статус памятника истории и культуры был забыт вовсе.

В начале XXI в. жилые новостройки вплотную подошли к границе парка, северный фрагмент парковой зоны был вырублен в 2017 г., эта же участь постигла старые рядовые посадки дуба, диаметр стволов которых достигал 90 и более см (рис. 4). Под давлением общественности города к территории парка было привлечено внимание, появился десяток публикаций в СМИ. В 2019 и 2020 гг. во время субботников часть парковой территории была очищена от хлама, аварийных и сорных деревьев, в первую очередь, клена американского.

Рис. 4. Спил старовозрастного дуба черешчатого (диаметр 92 см), росшего вдоль дороги, ведущей к парку.
Фото М.В. Казаковой, 2019 г.

Fig. 4. Saw cut of an old English oak tree (92 cmdiameter) that grew along the road leading to the park.
Photo by M.V. Kazakova, 2019

Цели и задачи исследования

Цель исследования – получение комплексной характеристики состояния парковой растительности. В задачи исследования входит следующее:
– картирование и описание деревьев в парке;
– становление возраста деревьев;
– анализ растительности;
– определение степени биоразнообразия и доминирования с использованием индексов Шеннона и Симпсона.

Материал и методы исследования

Материал собран на двух участках: I и II (см. рис. 2).

Выполнено несколько геоботанических описаний по методике Браун-Бланке на площадках 20 × 20 м. Сделаны промеры 429 экземпляров деревьев в парковой зоне и на территории психиатрической больницы с составлением базовой таблицы в программе MS Excel. Учтены

морфометрические параметры: диаметр и высота ствола, наличие повреждений и признаков грибковых заболеваний, жизненность.

Отмечены порядковые номера деревьев диаметром более 20 см нанесением белой водостойкой краски на стволы. Сфотографированы отдельные деревья и повреждения.

116 деревьев оценены по категориям экологического состояния: 1 – без признаков повреждений, 2 – ослабленные; 3 – сильно ослабленные; 4 – усыхающие (Шкала категорий состояния деревьев; приказ Рослесхоза от 12.01.99 № 5 «Об утверждении санитарных правил в лесах, расположенных на территории Московской области» (zakonbase.ru/content/part/37423?print=1)). Не учитывались категории 5 и 6, т.е. сухостой текущего года и прошлых лет.

Выборочное взятие кернов для определения возраста деревьев выполнено возрастным буравом (Haglof, ООО «Лесснаб», Россия). Оценка биоразнообразия древесных насаждений дана с применением индексов Шеннона и Симпсона.

Результаты

Общая характеристика растительности

В верхнем древесном ярусе (20–28 м) учтено 429 экземпляров 8 пород: *Tilia cordata* – 63,4% от всего количества учтенных деревьев, *Acer platanoides* – 13,5%, *Quercus robur* – 8,6%, *Betula pendula* – 4,9%, *Larix sibirica* – 3,5%, *Ulmus laevis* – 1,6%, *Fraxinus excelsior* – 1,4%, *Populus tremula* – менее 1%. Во втором древесном ярусе помимо *Acer platanoides* и *Tilia cordata* заметно участие *Acer negundo*. По краю паркового участка встречаются ива козья (*Salix caprea* L.) и ясень пенсильванский (*Fraxinus pennsylvanica* Marshall.). Сомкнутость крон колеблется в разных участках от 0,5 до 0,8. До проведения расчистки осенью 2019 и 2020 гг. под кронами был развит очень густой подрост с преобладанием в нем клена остролистного и клена американского; представлены и другие виды широколиственных пород: *Quercus robur*, *Fraxinus excelsior*, *Tilia cordata*, *Ulmus laevis*, *U. glabra*. Отмечены массовые всходы дуба и ясеня под кронами старых деревьев.

В связи с длительным существованием парка в режиме лесопарка и высокой сомкнутостью крон подлесок разрежен. В нем представлены лесные виды: черемуха (*Padus avium* Mill.), рябина (*Sorbus aucuparia* L.), калина (*Viburnum opulus* L.), а также придолинный вид ежевика (*Rubus cesius* L.) и ушедшие из ближайших городских посадок или садов декоративные и ягодные кустарники: кизил белый (*Cornus alba* L.), спирея средняя (*Spiraea media* Fr. Schmidt), снежноягодник

белый (*Symphoricarpos albus* (L.) S.F. Blake), вишня обыкновенная (*Cerasus vulgaris* Mill.), яблоня домашняя (*Malus domestica* Borkh.), смородина красная (*Ribes rubrum* L.), малина (*Rubus idaeus* L.). Среди внеярусной растительности следует отметить *Parthenocissus inserta* (A. Kern.) Fritsch, который заходит под полог и на стволы лип со стороны частных строений.

Проективное покрытие травянистого яруса не превышает 20% и лишь близ многочисленных троп достигает 35%. Представлены типичные виды лесного широкотравья: *Aegopodium podagraria* L., *Alliaria petiolata* (Bieb.) Cavara et Grande, *Carex sylvatica* Huds., *Festuca gigantea* (L.) Vill., *Lamium maculatum* (L.) L., *Ranunculus cassubicus* L., местами также *Campanula trachelium* L., *Convallaria majalis* L., *Epipactis helleborine* (L.) Crantz, *Geum urbanum* L., *Scrophularia nodosa* L., *Stachys sylvatica* L.; единично *Brachypodium sylvaticum* (Huds.) Beauv., *Polygonatum multiflorum* (L.) All., *Rumex obtusifolius* L. В нижнем подъярусе обычны *Asarum europaeum* L., *Glechoma hederacea* L., *Lysimachia nummularia* L., местами *Myosotis sparsiflora* Mikan ex Pohl, *Pulmonaria obscura* Dumort, *Veronica chamaedrys* L., а весной *Anemone ranunculoides* L.

Группа синантропных растений представлена 30 видами, среди которых повсеместно встречаются *Erigeron annuus* (L.) Pers., *E. canadensis* L., *Impatiens parviflora* DC., по окраинам зеленой зоны формируют заросли *I. glandulifera* Royle, *Solidago canadensis* L.; отмечен, хотя и единично *Heracleum sosnowskyi* Manden., *Lupinus polyphyllus* Lindl., *Solidago gigantea* Aiton и др. Всего на парковой территории под пологом и по ее окраине зафиксировано около 100 травянистых видов.

Обследование древесных растений

В составе древесных ярусов представлены деревья всех возрастов, начиная от 10 лет и кончая 150 (возможно, 170) годами. Косвенным показателем возраста служит диаметр ствола. Данные учета этого показателя сведены в табл. 1.

В древесном ярусе численно преобладает липа в диапазоне диаметра ствола 20–100 см; отмечено 272 экземпляра, или 63,7% от общего количества учтенных деревьев. Возраст преобладающих размерных классов (диаметр ствола 40–59 см) не превышает 60–70 лет. В целом возраст всех учтенных широколиственных пород варьирует от 20 до 140 лет (возможно, единичные дубы 170 лет). Диаметр стволов четырех наиболее крупных дубов достигает 96 и 106 см. Определить точный их возраст не удалось, т.к. в центре ствола древесина разрушена гнилью.

Таблица 1

Распределение лиственных пород первого древесного яруса по размеру диаметра ствола [Distribution of deciduous species of the first tree layer according to the size of the trunk diameter]

Виды [Species]	Диаметр ствола, см [Trunk diameter, cm]							Всего, экз./% [Total, exemp./%]
	20–29	30–39	40–49	50–59	60–69	70–79	80–100	
Tilia cordata	10	31	87	79	40	21	4	272/63,4
Acer platanoides	12	24	11	6	2	2	1	58/13,5
A. negundo	4	–	–	–	–	–	–	4/0,8
Betula pendula	4	4	5	6	2	–	–	21/4,9
Fraxinus excelsior	1	2	2	1	–	–	–	6/1,4
F. pennsylvanica	2	–	–	–	–	–	–	2/0,4
Larix sibirica	10	5	–	–	–	–	–	15/3,5
Pinus sylvestris	–	1	–	–	–	–	–	1/0,2
Populus × nevensis	–	–	–	3	–	–	–	3/0,7
P. tremula	–	2	1	–	–	–	–	3/0,7
Quercus robur	–	–	–	9	8	8	10	37/8,6
Salix alba	–	1	–	–	–	–	–	1/0,2
S. caprea	–	1	–	–	–	–	–	1/0,2
Ulmus laevis	3	–	2	1	–	1	–	7/1,6
Всего [Total]	46	71	108	105	52	32	15	429/100

На территории больницы старовозрастный участок является продолжением парковых посадок. Просматриваются липовые и дубовые аллеи. Их возраст оценивается в 120–140 лет. Очевидно, эти посадки были осуществлены при оформлении парковой зоны вокруг построенной в 1880-е гг. больницы. Преобладание средневозрастных деревьев липы и клена (до 70 лет) позволяет предположить, что часть парковой территории была вырублена (вероятно, в 1940-е гг.) и в послевоенный период

произошло естественное восстановление лесопаркового характера этой зеленой зоны. На территории больницы примерно 70–75 лет назад была высажена группа деревьев лиственницы сибирской.

Оценка жизненного состояния сохранившихся деревьев выявила преобладание деревьев категории 2 (ослабленные) – около 62%, значительна доля здоровых деревьев, категория 1 – 27%, остальные деревья оценены как сильно ослабленные: категория 3 – 10% и категория 4 – 1%.

Особое внимание обращают на себя исторически ценные деревья за пределами парка. К ним относятся одно дерево лиственницы сибирской (диаметр ствола 95 см) и два дерева лиственницы европейской (диаметр ствола 73 и 55 см), которые отмечены в 100 м к западу от границы парковой зоны (см. рис. 2).

Обсуждение

По своей истории, уходящей к середине XIX в., Парк героев 1812 года, несомненно, представляет уникальное явление среди зеленых зон города. По площади он вполне сопоставим с известным городским парковым ансамблем «Верхний и Нижний парки» в самом центре Рязани по ул. Ленина (бывшей Астраханской). Общая площадь Верхнего и Нижнего парков составляет 5,31 га, площадь исследованной территории мемориального парка, включая участок, оказавшийся на территории больницы, составляет 6,09 га. Однако современное состояние этих исторических парков существенно отличается: первый – это регулярный парк с обустроенной инфраструктурой, включая малые архитектурные формы, тогда как второй по характеристике растительности более напоминает лесопарк, сложенный в основном местными широколиственными породами с участием вторичных мелколиственных березы и осины.

Проведено сравнение уровня биоразнообразия пород деревьев двух исторических зеленых комплексов с использованием математических индексов Шеннона и Симпсона. В обоих парках учтено 19 видов (табл. 2). В Верхнем и Нижнем парках выявлено в сумме 527 деревьев 16 видов, в Мемориальном парке – 429 деревьев 14 видов.

Применение информационного индекса Шеннона как показателя гетерогенности выборки и сложности сообщества [Количественные методы.., 2005] позволяет оценить видовое разнообразие двух парков. Объединены два компонента разнообразия – число видов и их выровненность по количеству особей. Хотя в случае парковых комплексов мы рассматриваем заведомо искусственно созданные насаждения, а не сообщества, их сравнение достаточно показательно.

Таблица 2

Численность древесных пород в двух исторических парках Рязани [The number of tree species in two historical parks of Ryazan]

Виды [Species]	Верхний и Нижний парки [Verkhniy and Nizhniy Parks]	Мемориальный парк [Memorial park]
Acer negundo	2 (1 + 1)*	4
A. platanoides	57 (10 +47)	58
Aesculus hyppocastanum	43 (43 + 0)	–
Betula pendula	27 (19 + 8)	21
Fraxinus excelsior	9 (1 + 8)	6
Fraxinus pennsylvanica	126 (105 + 21)	2
Juglans mandshurica	2 (2 + 0)	–
Larix sibirica	30 (13 + 17)	15
Picea pungens	4 (4 + 0)	–
Pinus sylvestris	–	1
Populus canadensis	1 (0 + 1)	–
P. × nevensis	2 (2 + 0)	3
P. tremula	–	3
Quercus robur	2 (2 + 0)	37
Robinia pseudoacacia	2 (1 + 1)	–
Salix alba	–	1
Sorbus aucuparia	2 (2 + 0)	–
Tilia cordata	197 (102 + 95)	272
Ulmus laevis	21 (1 + 20)	7
Всего	527 (308 + 219)	429

Примечание. * в скобках указано количество экземпляров вида в Верхнем и Нижнем парках в отдельности.

[*Note*. * the number of specimens of the species in Verkhniy and Nizhniy Parks is indicated separatelyin brackets.]

Мы получили значения индекса Шеннона для Верхнего и Нижнего парков 2,66, а для Мемориального парка – 1,92, что говорит о среднем уровне биоразнообразия древесных видов в первом парке и несколько обедненном во втором.

Парк на ул. Ленина, созданный в XIX в. как парк Дворянского собрания, был восстановлен по его образцу в конце 1950-х – начале 1960-х гг. Большинство деревьев в нем достигли 70–80-летнего возраста, за исключением 120-летних лиственниц и некоторых экземпляров липы мелколистной и вяза гладкого. Основу в этом парковой комплексе составляют ясень пенсильванский (126 экз.) и липа сердцелистная (197 экз.). В нем исходно было предусмотрено использование разнообразных декоративных деревьев, их более равномерное сочетание. В 2020 г. этот парк был вновь реконструирован.

Мемориальный парк изначально, как было отмечено выше, создавался с доминированием липовых насаждений. Другие породы либо были включены дополнительно, либо появились в результате произвольного семенного возобновления. Показателем равномерности участия выявленных видов служит индекс Симпсона, или индекс доминирования. Для древесного состава Верхнего и Нижнего парков он равен 0,22, что демонстрирует отсутствие явного доминирования какого-то компонента, тогда как в Мемориальном парке он вдвое выше – 0,43, что указывает на заметное преобладание деревьев липы среди других пород.

Очевидно, что значения этих информационных индексов не следует расценивать как показатели значимости или ценности рассмотренных парков. Они будут иметь значение в длительных мониторинговых исследованиях. Выпадение или посадка отдельных пород отразится на числовых значениях рассчитанных индексов. Реальная ценность Мемориального парка определяется его историей и сохранившимися старовозрастными деревьями. К наиболее ценным деревьям отнесены 120–160-летние экземпляры пород с наиболее плотной древесиной – это ясень, дуб и вяз [Восточноевропейские…, 2004], имеющие категории состояния 1–2 (без признаков повреждений и ослабленные).

Проведенное исследование позволило рекомендовать к внесению в Реестр уникальных деревьев города Рязани (http://admrzn.ru/informatsionnye-razdely/novosti/2016/:16190) 5 экземпляров из обследованных 429 растений древесного яруса:

1) дуб черешчатый (в базе данных № 168) – категория состояния 2 (ослабленный), диаметр ствола 95 см, крона густая, асимметричная, начинается на высоте 10 м; есть грибковое поражение ствола;

2) дуб черешчатый (№ 169) – категория состояния 1 (без признаков повреждений), диаметр ствола 90 см, крона густая, начинается на высоте 9 м; ствол без видимых повреждений;

3) дуб черешчатый (№ 191) – категория состояния 1 (без признаков повреждений), диаметр ствола 100 см, крона густая асимметричная, начинается на высоте 10 м; ствол без видимых повреждений;

4) дуб черешчатый (№ 256) – категория состояния 2 (ослабленный), диаметр ствола 89 см, крона густая широкая, начинается на высоте 10 м; на стволе есть единичные плодовые тела трутового гриба на высоте 12 м;

5) ясень высокий (№ 239) – категория состояния 2 (ослабленный), диаметр ствола 60 см, возраст около 100 лет; повреждения ствола незначительные, крона широкая, мощная.

Заключение

Выполненное исследование подтвердило природно-ландшафтную и историко-мемориальную ценность парка, созданного в середине XIX в. и сохранившего в настоящее время в составе древесного яруса значительное количество старовозрастных деревьев широколиственных пород. 89% этих деревьев находятся в удовлетворительном состоянии – категории жизненности 1–2 (без признаков повреждений и ослабленные), что свидетельствует о перспективности реставрации всей зеленой зоны для придания парку официального статуса «Мемориальный парк».

К наиболее актуальным задачам реставрации относятся:

– удаление вокруг старовозрастных ценных деревьев густого подроста клена остролистного и других быстрорастущих пород;
– проведение работ по лечению исторических деревьев от грибковых поражений и консервации стволовых повреждений;
– удаление хлама с территории парковой зоны;
– удаление наиболее опасных и агрессивных адвентивных видов, включая клен американский, борщевик Сосновского, золотарники канадский и гигантский;
– улучшение состояния имеющихся троп для ограничения прогулочных маршрутов и сохранения травянистой растительности на остальной территории.

Перечисленный комплекс мероприятий необходим и достаточен для обеспечения длительного существования этой зеленой зоны и сохранения ее мемориальной ценности; он также не предполагает значительных финансовых затрат на их проведение.

Наличие в составе растительности видов кустарников облегчает формирование декоративных групп этого яруса. Высокое разнообразие травянистых видов обеспечивает естественное формирование мозаики декоративных многолетников.

В целом природный комплекс Мемориального парка не должен превращаться в ходе реконструкции в регулярный парк, аналогичный Верхнему и Нижнему паркам. Он должен сохранить лесопарковый облик и богатство видового состава растительности. Он также представляет собой интересный и доступный объект разнообразных эколого-ботанических студенческих и школьных исследований. Старовозрастные ценные деревья могут стать предметом индивидуальной защиты и ухода, постоянных наблюдений со стороны учащихся ближайших школ. Это та форма патриотического воспитания, которая нацелена на изучение и сбережение подрастающим поколением истории своего города, своего района.

Представленные в статье результаты ботанического обследования подготовили основу для дальнейшего изучения структуры и динамики растительности, мониторинга фиторазнообразия с применением математических методов, изучения популяций индикаторных и ключевых видов, для продолжения паспортизации всех древесных насаждений и т.д. Результаты двухлетних исследований переданы в администрацию Рязани для принятия конкретных мер по реконструкции этого исторического и природного зеленого объекта.

Библиографический список / Referense

Березуцкий М.А., Панин А.В. Флора городов: структура и тенденции антропогенной динамики // Ботанический журнал. 2007. Т. 92. № 10. С. 1481–1489. [Berezutskii M.A., Panin A.V. Flora of cities: Structure and trends of anthropogenic dynamics. *Botanicheskii zhurnal.* 2007. Vol. 92. No. 10. Pp. 1481–1489. (In Russ.)]

Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность: В 2 кн. М., 2004. [Vostochnoevropeiskie lesa: istoriya v golotsene i sovremennost [Eastern European forests: History in the Holocene and the present]. Moscow, 2004.]

Казакова М.В., Белошенкова А.Д. Старовозрастные деревья: материал для реестра уникальных насаждений города Рязани // Вестник Удмуртского ун-та. Серия Биология. Науки о Земле. 2017а. Т. 27. Вып. 1. С. 33–42. [Kazakova M.V., Beloshenkova A.D. Old-growth trees: material for the register of unique plantations of the city of Ryazan. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences.* 2017. Vol. 27. No. 1. Pp. 33–42. (In Russ.)]

Казакова М.В., Белошенкова А.Д. О распространении видов *Populus* L., *Amelanchier* Medik., *Crataegus* L. и *Rosa* L. в Рязанской области // Труды Рязанского отделения Русского ботанического общества. Вып. 4: Флористические исследования / Под ред. М.В. Казаковой. Рязань, 2017б. С. 8–53. [Kazakova M.V., Beloshenkova A.D. Extension of *Populus* L., *Amelanchier* Medik., *Crataegus* L. and *Rosa* L. species in the Ryazan Region. *Trudy Ryazanskogo otdeleniya Russkogo botanicheskogo obshchestva*. Vol. 4: Floristic research. Ryazan, 2017. Pp. 8–53. (In Russ.)]

Об устойчивости древесных интродуцентов в условиях Рязанской области / Казакова М.В., Бучкова А.Э., Зудов В.Е. и др. // Вестник РГУ имени С.А. Есенина. 2015. № 1 (46). С. 138–149. [Kazakova M.V., Buchkova A.E., Zudov V.E. et al. About the stability of woody introduced species in the Ryazan region. *The Bulletin of Ryazan State University named for S.A. Yesenin*. 2015. No. 1 (46). Pp. 138–149. (In Russ.)]

Казакова М.В., Пастушенко А.Д. О натурализации древесных интродуцентов в условиях Рязани и ее окрестностей // Проблемы ботаники: история и современность: Материалы междунар. науч. конф., посвященной 130-летию со дня рожд. проф. Б.М. Козо-Полянского, 80-летию со дня рожд. проф. К.Ф. Хмелева, IX научного совещания «Флора Средней России» (Воронеж, 3–7 февраля 2020 г.). Воронеж, 2020. С. 160–164. [Kazakova M.V., Pastushenko A.D. About the naturalization of tree introduced species in the conditions of Ryazan and its environs. *Problemy botaniki: istoriya i sovremennost.* Voronezh, 2020. Pp. 160–164. (In Russ.)]

Канаев И.Н., Корниенко В.Д. Обрядовый театр и формирование в Рязани Мемориального парка героев Отечественной войны 1812 года // Проблемы исследования социокультурной среды древних городов: Материалы Междунар. научно-практич. конф. в рамках Второго междунар. форума древних городов, 14 авг. 2019 г. Отв. ред. В.А. Горнов. М., 2020. С. 118–120. [Kanaev I.N., Kornienko V.D. Ritual theater and the formation of the Memorial Park of the Heroes of the Patriotic War of 1812 in Ryazan. *Problemy issledovaniya sotsiokulturnoi sredy drevnikh gorodov*. V.A. Gornov (ed.). Moscow, 2020. Pp. 118–120. (In Russ.)]

Количественные методы экологии и гидробиологии: Сборник научных трудов, посвященных памяти А.И. Баканова / Отв. ред. Г.С. Розенберг. Тольятти, 2005. [Kolichestvennye metody ekologii i gidrobiologii [Quantitative methods of ecology and hydrobiology]. G.S. Rozenberg (ed.). Tolyatti, 2005.]

Полякова Г.А., Швецов А.Н. Методика организации мониторинга растительности особо ценных природных и культурно-исторических территорий // Актуальные проблемы геоботаники. III Всероссийская школа-конференция. Петрозаводск, 2007. С. 365–376. [Polyakova G.A., Shvetsov A.N. Methods for organizing monitoring of vegetation of especially valuable natural and cultural-historical territories. *Aktualnye problemy geobotaniki. III Vserossiiskaya shkola-konferentsiya*. Petrozavodsk, 2007. Pp. 365–376. (In Russ.)]

Рысин С.Л., Трусов Н.А., Яценко И.О. Особенности организации мониторинга ценных древесных растений на урбанизированных территориях // Лесной вестник. 2015. Т. 19. № 5. С. 140–144. [Rysin S.L., Trusov N.A., Yatsenko I.O. Features of the organization of monitoring of valuable woody plants in urbanized areas. *Forestry Bulletin*. 2015. Vol. 19. No. 5. Pp. 140–144. (In Russ.)]

Соболев Н.А., Казакова М.В. Природные и озелененные территории города Рязани. [Карта]. Рязань, 2007. [Sobolev N.A., Kazakova M.V. Prirodnye i ozelenennye territorii goroda Ryazani [Natural and green areas of the city of Ryazan] [Map]. Ryazan, 2007.]

Фатьянова Е.В., Антонова И.С. К вопросу об оценке состояния городских древесных растений и насаждений // Ботанический журнал. 2014. Т. 99. № 3. С. 249–267. [Fatyanova E.V., Antonova I.S. On the question of assessing the state of urban woody plants and plantations. *Botanicheskii zhurnal*. 2014. Vol. 99. No. 3. Pp. 249–267. (In Russ.)]

Якубов Х.Г. Экологический мониторинг зеленых насаждений в крупном городе: на примере г. Москвы: Автореф. дис. … д-ра биол. наук. М., 2006. [Yakubov Kh.G. Ekologicheskii monitoring zelenykh nasazhdenii v krupnom gorode:

na primere g. Moskvy [Environmental monitoring of green spaces in large city: The example of Moscow]. Dr. Hab. theses. Moscow, 2006.]

Kazakova M. The conservation and reconstruction of the Ryazan Region Historical Parks. *History of the Future: Proceedings of the 52th World Congress of the International Federation of Landscape Architects*. St. Petersburg, 2015. Pp. 156–157.

Kazakova M., Beloshenkova A. Historical and modern green areas of Ryazan. *History of the Future: Proceedings of the 52th World Congress of the International Federation of Landscape Architects*. Saint-Petersburg, 2015. Pp. 548–552.

Статья поступила в редакцию 21.09.2020, принята к публикации 21.11.2020
The article was received on 21.09.2020, accepted for publication 21.11.2020

Сведения об авторах / About the authors

Казакова Марина Васильевна – доктор биологических наук, доцент; профессор кафедры биологии и методики ее преподавания, руководитель лаборатории по изучению и охране биоразнообразия Института естественных наук, Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина,

Marina V. Kazakova – Dr. Biol. Hab.; professor at the Department of Biology, head at the Laboratory for the Study and Protection of Biodiversity of the Institute of Natural Sciences, Ryazan State University named for S. Esenin, Russian Federation

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9101-9959
E-mail: m.kazakova@365.rsu.edu.ru

Пастушенко Анастасия Дмитриевна – аспирант кафедры биологии и методики ее преподавания Института естественных наук, Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина

Anastasia D. Pastushenko – PhD student at the Department of Biology of the Institute of Natural Sciences, Ryazan State University named for S. Esenin, Russian Federation

E-mail: a.beloshenkova@gmail.com

Заявленный вклад авторов

М.В. Казакова – общее руководство направлением исследования, интерпретация результатов, подготовка текста статьи

А.Д. Пастушенко – картирование и описание деревьев, дендрохронологический анализ, статистическая обработка данных, подготовка текста статьи

Contribution of the authors

M.V. Kazakova – general direction of research, interpretation of the results, preparation of the text of the article

A.D. Pastushenko – tree mapping and description, dendrochronological analysis, statistical processing data,preparation of the text of the article

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи
All authors have read and approved the final manuscript

Оригинальное исследование

DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-4-447-458

**Т.В. Носкова, О.В. Ловцкая,
Т.С. Папина, М.С. Панина**

**Институт водных и экологических проблем
Сибирского отделения Российской академии наук,
650038, г. Барнаул, Российская Федерация**

Распределение органических веществ в снежном покрове города Барнаул

В данной работе на примере г. Барнаула (Западная Сибирь) приводится оценка степени влияния урбанизированной территории на загрязнение нефтепродуктами и летучими фенолами окружающего воздуха. В конце зимы 2018/2019 гг. была проведена снегомерная съемка и выполнен флуориметрический анализ талой воды снежного покрова г. Барнаула и прилегающих территорий. На основе полученных результатов с использованием эмпирического байесовского кригинга выполнен геостатистический анализ и построены модельные поверхности распределения исследуемых загрязняющих веществ. Средние концентрации изучаемых органических соединений в атмосфере г. Барнаула в 5–7 раз превышают фоновые значения. Наиболее высокие концентрации поллютантов, в 30–60 раз превышающие фон, локализуются в окружающем воздухе густонаселенных и промышленных зон города, что вызывает серьезное опасение за здоровье проживающего на этой территории населения. В зависимости от преимущественного направления ветра потоки исследуемых органических соединений перемещаются на северо-восток за пределы городской агломерации, где могут являться источниками загрязнения природных вод р. Обь и прилегающих территорий.

Ключевые слова: загрязнение атмосферы, снежный покров, нефтепродукты, летучие фенолы, метод эмпирического байесовского кригинга

© Носкова Т.В., Ловцкая О.В., Папина Т.С., Панина М.С., 2020
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License
The content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Института водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук по проекту 0383-2019-0002 «Климатические и экологические изменения и региональные особенности их проявления на территории Сибири по данным палеоархивов и атмосферных осадков», номер госрегистрации АААА-А17-117041210242-1. Построение геостатистических моделей распределения загрязняющих веществ выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-05-50057.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ: Распределение органических веществ в снежном покрове города Барнаул / Носкова Т.В., Ловцкая О.В., Папина Т.С., Панина М.С. // Социально-экологические технологии. 2020. Т. 10. № 4. С. 447–458. DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-4-447-458

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-4-447-458

T.V. Noskova, O.V. Lovckaya,
T.S. Papina, M.S. Panina

Institute for Water and Environmental Problems,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Barnaul, 656038, Russian Federation

Distribution of organic substances in the snow cover of Barnaul

The paper assesses the degree of influence of urbanized territory, on the example of Barnaul (Western Siberia), on the pollution of the air with petroleum products and volatile phenols. At the end of winter 2018/2019 snow surveys and fluorimetric analysis of meltwater of the snow cover of Barnaul and the suburban territory were carried out. Geostatistic models of the distribution of pollutants in the environment were constructed using the method of Empirical Bayesian Kriging. The average concentrations of the studied organic compounds in the atmosphere of Barnaul are 5–7 times higher than the background values. The highest concentrations of pollutants, 30–60 times higher than the background, are localized in the air of densely populated and industrial areas of the city. This raises serious concerns about the health of the population living in these areas. Depending

on the prevailing wind direction, the flows of the studied organic compounds move to the northeast outside the urban agglomeration, where they can be sources of pollution of the Ob River and adjacent territories.

Key words: air pollution, snow cover, oil products, volatile phenols, Empirical Bayesian Kriging method

Acknowledgments. The work was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences under the project 0383-2019-0002 "Climatic and ecological changes and regional features of their manifestation in Siberia according to paleoarchives and atmospheric precipitation data", state registration number AAAA-A17-117041210242-1. The construction of geostatistical models for the distribution of pollutants was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the framework of scientific project No. 19-05-50057.

CITATION: Noskova T.V., Lovckaya O.V., Papina T.S., Panina M.S. Distribution of organic substances in the snow cover of Barnaul. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2020. Vol. 10. No. 4. Pp. 447–458. (In Russ.) DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-4-447-458

Введение

Загрязнение атмосферы на сегодняшний день является глобальной проблемой. С постоянным увеличением антропогенной нагрузки происходит не только изменение климатических условий планеты и интоксикация природных биоценозов, но и существенно возрастает отрицательное влияние на здоровье людей [Zorzos, Alexiadis, Zacharopoulos, 2019; Ivanova, 2020]. Воздух становится малопригодным для обеспечения нормального функционирования организма, вследствие этого уменьшается средняя продолжительность жизни [Lelieveld et al., 2020]. По данным ВОЗ, причиной более 7 млн преждевременных смертей в год является загрязнение атмосферы [Neira, 2019]. Ежегодно в Российской Федерации в атмосферу поступает более 30 млн тонн токсичных веществ, а в последние годы наблюдается непрерывный рост общего объема выбросов от стационарных и передвижных источников.

Не первый год подряд в приоритетный список российских городов с наибольшим уровнем загрязнения атмосферы включен г. Барнаул (Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году»). Постоянному контролю в окружающем воздухе на станциях сети Росгидромета подвергается ряд особо токсичных веществ, одними из них являются фенол, а также бенз(а)пирен, входящий в состав нефтепродуктов. Данные соединения

относятся ко второму и первому классу опасности соответственно (Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений: Гигиенические нормативы, с изменениями, утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации 31.05.2018 № 37).

Однако мониторинг качества атмосферы является трудоемкой задачей, требующей сложного оборудования для отбора проб воздуха. В регионах с устойчивым снежным покровом снег является легкодоступным и уникальным природным идентификатором атмосферного загрязнения. В результате влажного и сухого осаждения в снежном покрове накапливаются загрязняющие вещества, содержание которых в последствии можно напрямую измерить простыми лабораторными методами. При этом изучение химического состава талых вод позволяет не только косвенно оценить качество окружающего воздуха за длительный холодный период года, но также определить источники и интенсивность загрязнения [Василенко, Назаров, Фридман, 1985; Vetrov, Kuzovkin, Manzon, 2015; Анализ загрязненности…, 2016].

Крупные промышленные города можно воспринимать как единый центр антропогенной эмиссии поллютантов в атмосферу. Большой интерес вызывает моделирование ареала пространственного загрязнения от источника с использованием геоинформационных систем совместно с полевыми данными снегомерных съемок [Filimonova, Bychinskii, Parshin, 2015; Vasilevich et al., 2018].

Цель работы и задачи

Цель работы – на основе натурных данных снегомерных съемок и использовании геоинформационных систем обработки полученной информации построить карты распределения нефтепродуктов, летучих фенолов в снежном покрове г. Барнаула и оценить степень влияния на загрязнение данными органическими веществами атмосферного воздуха, как в городской черте, так и за ее пределами.

Для этого были поставлены следующие задачи:

– провести отбор проб снежного покрова в пределах городской агломерации, включая загородные точки;
– выполнить флуориметрический анализ отобранных проб на содержание нефтепродуктов и летучих фенолов;
– построить геостатистическую модель, визуализирующую пространственное распределение изучаемых веществ,
– провести оценку распространения нефтепродуктов и летучих фенолов в атмосфере г. Барнаула.

Материалы, методы и район исследования

Город Барнаул – столица Алтайского края, численность населения – около 700 тыс. человек, расположен на юге Западной Сибири. Открытость со стороны Северного Ледовитого океана и полупустынных районов Средней Азии создает возможность поступления различных воздушных масс, способствующих значительной изменчивости погодных условий и накоплению примесей в приземной части атмосферы. Климат Барнаула континентальный с продолжительной холодной зимой и коротким жарким летом. Устойчивый снежный покров в среднем формируется в первой декаде ноября и полностью разрушается в начале апреля.

Отбор проб снежного покрова проводили в момент максимального снегонакопления в первой декаде марта 2019 г. в 30 различных точках в черте города и окрестностях, включая фоновые (рис. 1).

Рис. 1. Точки отбора проб снежного покрова и роза ветров в зимний период 2018/2019 гг.

Fig. 1. The sampling points of the snow cover and the wind rose in the winter of 2018/2019

Усредненная толщина снежного покрова в исследуемых точках составила 52,5 см, что практически равняется средней многолетней (53 см) толщине для территории г. Барнаула [Дьякова, Агрызина, 2017]. В чистые полиэтиленовые пакеты пластиковой трубой с диаметром

внутреннего сечения 4,5 см отбирали от 5 до 10 разовых образцов, входящих в составную пробу. Для исключения влияния подстилающей поверхности, нижний слой (как правило, не более 5 см) отбрасывали. Отобранные пробы доставляли в лабораторию, где при комнатной температуре в закрытых стеклянных емкостях проводили таяние снега.

Определение содержания нефтепродуктов и летучих фенолов выполняли флуориметрическим методом на анализаторе жидкости Флюорат-02-3М (Люмекс, Россия). Поток поступления изучаемых компонентов в течение зимнего периода из атмосферы на подстилающую поверхность рассчитывали с помощью формулы:

$$P = \frac{CV}{SN}, \quad (1)$$

где P – масса определяемого компонента, поступившего на единицу площади земной поверхности за период залегания снежного покрова, мг/дм^2; C – концентрация компонента в талой воде, мг/дм^3; V – объем талой воды в пробе, дм^3; S – площадь внутреннего поперечного сечения трубы, дм^2; N – количество кернов снега, отобранных в одной точке.

Для построения геостатистических моделей распределения исследуемых загрязняющих веществ в пространстве был использован эмпирический байесовский кригинг, реализованный в модуле Geostatistical Analyst геоинформационного программного продукта ArcGIS® Desktop. Эмпирический байесовский кригинг автоматизирует наиболее трудоемкие аспекты построения корректной модели кригинга и отличается от других методов кригинга тем, что, используя множество моделей вариограммы, позволяет учесть неопределенности, связанные с ее построением [Krivoruchko, 2012; Samsonova, Blagoveshchenskii, Meshalkina, 2017; Durdevic et al., 2019].

Результаты и обсуждения

Среднеарифметическое содержание нефтепродуктов и летучих фенолов в талой воде снежного покрова г. Барнаула составило 0,08 мг/дм^3 и 2,1 мкг/дм^3 соответственно. Эти значения соизмеримы по нефтепродуктам и почти в пять раз меньше по летучим фенолам относительно ранее полученных для исследуемой территории значений [Долматова, Гусева, 2004]. Если рассматривать литературные данные в других регионах, то наши результаты хорошо согласуются со средним содержанием нефтепродуктов (0,075 мг/дм^3) в снежном покрове населенных мест юго-западной акватории озера Байкал [Янчук, 2020]. В основном же концентрации в окружающей среде таких комплексных показателей, как нефтепродукты и летучие фенолы, очень сильно зависят от уровня

антропогенной нагрузки и местоположения источников загрязнения. Многолетнее изучение химического состава снежного покрова г. Барнаула показали, что основными источниками летучих фенолов являются выбросы промышленных предприятий [Носкова, Папина, 2019], а нефтепродуктов – выхлопные газы автомобильного транспорта [Оценка влияния…, 2018; Содержание нефтепродуктов…, 2018].

Результаты расчета потока поступления изучаемых компонентов из атмосферы на единицу площади подстилающей поверхности с использованием формулы (1) представлены в табл. 1.

Таблица 1

Диапазон изменения содержания поллютантов в снежном покрове г. Барнаула в сравнении с фоном [Range of concentration, average and median of pollutants value in the snow cover of Barnaul in comparison with the background]

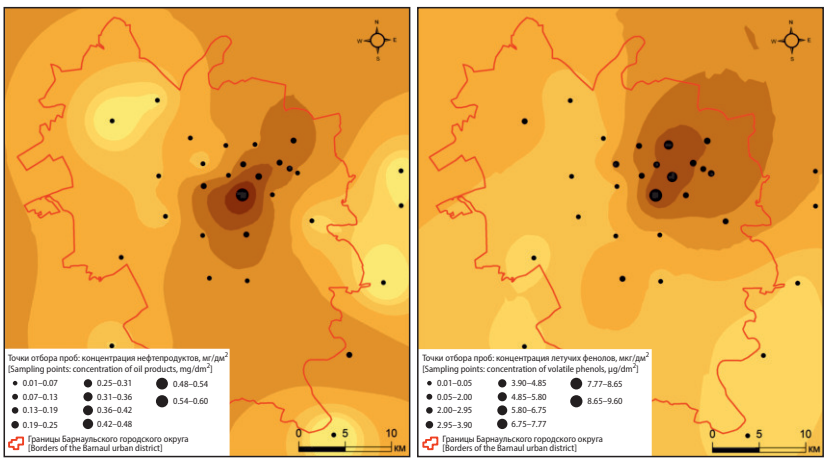
Поллютанты [Pollutants]	Точки отбора проб [Sampling points]]			
	Городские [City]			Фоновые [Background]
	min–max	медиана [median]	среднее [average]	
Летучие фенолы, мкг/дм^2 [Volatile phenols, мg / dm^2]	0,1–9,6	1,4	1,8 ± 0,8	0,3
Нефтепродукты, мг/дм^2 [Oil products, mg/dm^2]	0,01–0,60	0,05	0,07 ± 0,03	0,01

Как следует из таблицы, среднее содержание нефтепродуктов в городском снежном покрове превышает фоновое значение в 5 раз, а летучих фенолов – в 7 раз, это свидетельствует о наличии существенного загрязнения городской атмосферы. Однако широкий размах варьирования концентраций показывает, что изучаемые компоненты рассредоточены в снежном покрове г. Барнаула очень неравномерно, что иллюстрирует геостатистическая модель их распределения (рис. 2).

Основная локализация исследуемых органических веществ сосредоточена в густонаселенных и промышленных зонах города (см. рис. 2). Концентрации нефтепродуктов и летучих фенолов в них превышают фоновые значения в 60 и 30 раз соответственно. Из литературных источников известно, что отдельные компоненты изучаемых комплексных показателей имеют определенные отравляющие свойства. Например, фенол обладает кардиотоксическим, а бенз(а)пирен – канцерогенным воздействием на организм [Ярышкина, Малова, Аблов, 2011; Макоско, Матешина, 2012]. По данным статистики Роспотребнадзора,

первое и второе ранговые места в структуре общей смертности жителей Алтайского края занимают болезни системы кровообращения и онкологии (Доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Алтайском крае в 2019 году» (22.rospotrebnadzor.ru/documents/10156/fe591c6e-8d2f-4e0e-ba46-254c88eb48c0)).

При этом точки, расположенные с подветренной стороны на западе и юге г. Барнаула, практически не подвержены загрязнению. Для нефтепродуктов исключением является точка, находящаяся за пределами городской агломерации на юго-востоке, где расположено одно из предприятий лесной холдинговой компании «Алтайлес», которое, возможно, является источником поступления углеводородов в атмосферу. Поток поллютантов в зависимости от розы ветров перемещается далеко за пределы городской агломерации, где может оседать в снежном покрове поймы р. Обь и впоследствии в процессе снеготаяния непосредственно попадать в ее воды. Согласно данным сети Росгидромет, летучие фенолы и нефтепродукты много лет подряд являются приоритетными загрязняющими веществами поверхностных вод в черте г. Барнаула (Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды городского округа – города Барнаула Алтайского края в 2018 году»).



a *b*

Рис. 2. Геостатистическая модель распределения нефтепродуктов (*a*) и летучих фенолов (*b*) в снежном покрове г. Барнаула

Fig. 2. Geostatistic model of distribution of oil products (*a*) and volatile phenols (*b*) in the snow cover of Barnaul

Заключение

Нефтепродукты и летучие фенолы распределены в снежном покрове в черте и окрестностях г. Барнаула неравномерно. Основная локализация этих веществ приходится на густонаселенную и промышленную зоны города.

В зависимости от преимущественного направления ветра потоки исследуемых органических соединений перемещаются на северо-восток за пределы города, при этом дальность переноса изучаемых органических соединений в этом направлении требует дальнейшего более детального изучения.

Было определено, что точки, расположенные на юге и востоке городской агломерации, практически не подвержены загрязнению, поступающему от г. Барнаула, хотя возможно влияние локальных источников эмиссии поллютантов.

Выводы

В ходе данной работы была проведена снегомерная съемка и выполнен флуориметрический анализ талой воды снежного покрова г. Барнаула и прилегающих территорий на содержание летучих фенолов и нефтепродуктов.

На основе полученных результатов построены геостатистические модели распределения в пространстве исследуемых загрязняющих веществ с использованием метода эмпирического байесовского кригинга. Средние концентрации изучаемых органических соединений в атмосфере г. Барнаула в 5–7 раз превышают фоновые значения, что свидетельствует о наличии загрязнения воздуха этими компонентами.

При этом наиболее высокие концентрации поллютантов, в 30–60 раз превышающие фон, локализуются в окружающем воздухе густонаселенных и промышленных зон города, что вызывает серьезное опасение за здоровье проживающего на этой территории населения.

В зависимости от преимущественного направления ветра потоки исследуемых органических соединений перемещаются на северо-восток за пределы городской агломерации, где могут являться источниками загрязнения природных вод р. Обь и прилегающих территорий.

Библиографический список / Reference

Анализ загрязненности снежного покрова в условиях антропогенной нагрузки / Бабкина А.А., Зубкова В.М., Белозубова Н.Ю., Горбунова В.А. // Вестник МГОУ. Серия: Естественные науки. 2016. № 4. С. 78–87. [Babkina A.A.,

Zubkova V.M., Belozubova N.Yu., Gorbunova V.A. Analysis of pollution of snow cover under anthropogenic load. *Geographical Environment and Living Systems*. 2016. No. 4. Pp. 78–87. (In Russ.)]

Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л., 1985. [Vasilenko V.N., Nazarov I.M., Fridman Sh.D. Monitoring zagryazneniya snezhnogo pokrova [Monitoring of snow cover pollution]. Leningrad, 1985.]

Долматова Л.А., Гусева М.А. Органические вещества в снеговом покрове прибрежной части р. Барнаулки // Ползуновский вестник. 2004. № 2. С. 150–154. [Dolmatova L.A., Guseva M.A. Organic substances in the snow cover of the coastal part of the Barnaul river. *Polzunovskii vestnik*. 2004. No. 2. Pp. 150–154. (In Russ.)]

Дьякова Г.С., Агрызина А.В. Характеристика снежного покрова в окрестностях города Барнаула // География и природопользование Сибири. 2017. № 23. С. 63–70. [Dyakova G. S., Agryzina A.V. Characteristics of the snow cover in the vicinity of the city of Barnaul. *Geografija i prirodopolzovanie Sibiri*. 2017. No. 23. Pp. 63–70. (In Russ.)]

Макоско А.А., Матешева А.В. О тенденциях распространения экологически обусловленных заболеваний техногенного загрязнения атмосферы // Инновации. 2012. № 10 (168). С. 98–105. [Macosco A.A., Matesheva A.V. Prevalence trends of environment-related diseases due to the anthropogenic air pollution. *Innovations.* 2012. Vol. 168. No. 10. Pp. 98–105. (In Russ.)]

Носкова Т.В., Папина Т.С. Влияние поверхностного стока на загрязнение природных вод летучими фенолами в период снеготаяния // Вода: химия и экология. 2019. № 7–9. С. 3–7. [Noskova T.V., Papina T.S. Influence of surface runoff on pollution of natural waters by volatile phenols during snowmelt. *Voda: himiya i ekologiya.* 2019. No. 7–9. Pp. 3–7. (In Russ.)]

Оценка влияния автотранспорта на загрязнение снежного покрова в городе Барнауле / Лабузова О.М., Носкова Т.В., Лысенко М.С. и др. // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2018. № 3 (50). С. 53–56. [Labuzova O.M., Noskova T.V., Lysenko M.S. et al. Assessment of the impact of road transport on the pollution of snow cover in the city of the Barnaul. *Bulletin AB RGS*. 2018. Vol. 50. No. 3. Pp. 53–56. (In Russ.)]

Содержание нефтепродуктов в атмосфере г. Барнаула / Носкова Т.В., Лейтес Е.А., Лабузова О.М., Лысенко М.С. // Социально-экологические технологии. 2018. № 2. С. 52–60. [Noskova T.V., Leites E.A., Labuzova O.M., Lysenko M.S. Content of oil products in the atmosphere of Barnaul. *Environment and Human: Ecological Studies.* 2018. No. 2. Pp. 52–60. (In Russ.)]

Янчук М.С. Оценка состояния снега и льда на Юго-западном побережье озера Байкал (на примере Голоустненского поселения и примыкающей акватории озера) по данным химического анализа талой воды // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2020. Т. 32. С. 128–139. [Yanchuk M.S. Chemical composition and current state of snow cover and ice on the South-west coast of lake Baikal (on the example of the Goloustnensky settlement). *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle.* 2020. Vol. 32. Pp. 128–139. (In Russ.)]

Ярышкина М.М., Малова Т.Н.. Аблов А.М. Бенз(а)пирен под контролем // Методы оценки соответствия. 2011. № 7. С. 37–39. [Yaryshkina M.M., Malova T.N.. Ablov A.M. Benzo(a)pyrene in the control. *Metody otsenki sootvetstviya.* 2011. No. 7. Pp. 37–39. (In Russ.)]

Filimonova L.M. Bychinskii V.A. Parshin A.V. Air pollution assessment in the area of aluminum production by snow geochemical survey. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2015. Vol. 40. Pp. 691–698.

Ivanova V. The anthropogenic air pollution and human health. *Journal of IMAB – Annual Proceeding (Scientific Papers)*. 2020. Vol. 26. No. 2. Pp. 3057–3062.

Krivoruchko K. Empirical Bayesian Kriging Implemented in ArcGIS Geostatistical Analyst. ArcUser. 2012. Pp. 6–10. URL: https://www.esri.com/NEWS/ARCUSER/1012/files/ebk.pdf (date of access: 12.03.2020).

Lelieveld J., Pozzer A., Pöschl U. et al. Loss of life expectancy from air pollution compared to other risk factors: A worldwide perspective. *Cardiovascular research*. 2020. Vol. 116. No 7. P. 1334.

Neira MP. Air pollution and human health: A comment from the World Health Organization. *Annals of Global Health*. 2019. Vol. 85. No. 1. P. 141.

Samsonova V.P., Blagoveshchenskii Y.N., Meshalkina Y.L. Use of Empirical Bayesian Kriging for revealing heterogeneities in the distribution of organic carbon on agricultural lands. *Eurasian Soil Science*. 2017. No. 3. Pp. 305–311.

Durdevic B., Jug I., Jug D. et al. Spatial variability of soil organic matter content in Eastern Croatia assessed using different interpolation methods. *International Agrophysics.* 2019. Vol. 33. No. 1. Pp. 31–39.

Vasilevich M.I., Vasilevich R.S., Shmarikova E.V. Input of pollutants with winter precipitation onto Vorkuta agglomeration territory. *Water Resources.* 2018. Vol. 45. No. 3. Pp. 338–347.

Vetrov V.A., Kuzovkin V.V., Manzon D.A. Precipitation acidity and fallout of nitrogen and sulfur on the territory of the Russian federation from the data of monitoring the chemical composition of snow cover. *Russian Meteorology and Hydrology.* 2015. No. 10. Pp. 667–674.

Zorzos A., Alexiadis A., Zacharopoulos S. Air Pollution: Sources and global statistics. *Open Schools Journal for Open Science*. 2019. Vol. 2. No 2. Pp. 46–59.

Статья поступила в редакцию 01.08.2020, принята к публикации 25.09.2020
The article was received on 01.08.2020, accepted for publication 25.09.2020

Сведения об авторах / About the authors

Носкова Татьяна Витальевна – кандидат технических наук; младший научный сотрудник Химико-аналитического центра, Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, г. Барнаул

Tatyana V. Noskova – PhD in Technical Sciences; Junior researcher at the Chemical Analytical Center, Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul

ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4960-8466
E-mail: ntv@iwep.ru

Ловцкая Ольга Вольфовна – старший научный сотрудник лаборатории гидрологии и геоинформатики, Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, г. Барнаул

Olga V. Lovtskaya – senior researcher at the Laboratory of Hydrology and Geoinformatics, Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3942-1350
E-mail: lov@iwep.ru

Папина Татьяна Савельевна – доктор химических наук; начальник Химико-аналитического центра, Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, г. Барнаул

Tatyana S. Papina – Dr. of Chemical Sciences; head at the Chemical Analytical Center, Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8388-7289
E-mail: papina@iwep.ru

Панина Мария Сергеевна – аспирант; ведущий инженер Химико-аналитического центра, Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, г. Барнаул

Maria S. Panina – post-graduate student; lead engineer at the Chemical Analytical Center, Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul

ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3379-7258
E-mail: lysenkomasha4@yandex.ru

Заявленный вклад авторов

Т.В. Носкова – подготовка текста статьи, анализ первичных данных, подготовка таблиц, участие в отборе проб, участие в подготовке рисунков

О.В. Ловцкая – построение геостатистических моделей, подготовка рисунков, участие в подготовке статьи

Т.С. Папина – общее руководство и организация исследования, участие в подготовке статьи, участие в подготовке рисунков и таблиц

М.С. Панина – отбор проб и лабораторные исследования, участие в подготовке статьи

Contribution of the authors

T.V. Noskova – preparation of the text of the article, analysis of primary data, drafting table, participation in the outfield research, participation in the preparation of the figures

O.V. Lovtskaya – preparation of the geostatistical models, preparation of the figures, participation in the preparation of the text of the article

T.S. Papina – general direction and organization of the research, participation in the preparation of the text of the article, participation in preparation of figures and table

M.S. Panina – realization of the outfield and laboratory research, participation in the preparation of the text of the article

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи
All authors have read and approved the final manuscript

Оригинальное исследование

DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-4-459-481

О.А. Соболева, О.С. Щетинская, Л.Н. Анищенко

**Брянский государственный университет
имени академика И.Г. Петровского,
241036 г. Брянск, Российская Федерация**

Эколого-химическая оценка городских родников Брянской области

Цель данного исследования – представить анализ эколого-химического состояния вод городских родников Брянской области. Объектами данной работы стали 35 родников, расположенных на территории городов староосвоенного региона – Брянской области. Основные определяемые показатели: органолептические характеристики (вкус, запах, цветность, мутность), химические характеристики (кислотность, содержание сульфат-, хлорид-, нитрат-, нитрит-, фосфат-ионов, общая минерализация (сухой остаток), общая жесткость, общее содержание железа, содержание цинка). На месте отбора проб регистрировали дебит источника, температуру воды и окружающей среды. Исследования проводились в осенне-зимний период 2019/2020 гг. Отмечено, что все анализируемые родники относятся к классу малодебитных и благополучны по органолептическим показателям. По температурному режиму воды исследованных родников относятся к холодным. Обнаружены несоответствия нормативным требованиям по содержанию нитрат-ионов (18 из 35 родников), общей жесткости (15), общей минерализации (2), содержанию общего железа (1). Таким образом, вода 15 родников из 35 исследованных удовлетворяет всем нормативным требованиям по гидрохимическим показателям качества, предъявляемым к питьевым водам.

Ключевые слова: родники, качество воды, химический состав вод, Брянская область, экологический мониторинг

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ: Соболева О.А., Щетинская О.С., Анищенко Л.Н. Эколого-химическая оценка городских родников Брянской области // Социально-экологические технологии. 2020. Т. 10. № 4. С. 459–481. DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-4-459-481

© Соболева О.А., Щетинская О.С., Анищенко Л.Н., 2020
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License
The content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-4-459-481

O.A. Soboleva, O.S. Shchetinckaya, L.N. Anishchenko

Bryansk State Academician I.G. Petrovski University, Bryansk, 241036, Russian Federation

Ecological and chemical assessment of urban springs in Bryansk region

The purpose of the study is to present an analysis of the ecological and chemical state of the waters of urban springs in Bryansk region. The objects of this work were 35 springs located in the towns of the old-developed area – Bryansk region. The main indicators to be determined are organoleptic characteristics (taste, smell, color, turbidity), chemical characteristics (acidity, content of sulfate, chloride, nitrate, nitrite, phosphate ions, total salinity (dry residue), total hardness, total content of iron, zinc content). At the sampling point, the flow rate of the source, the temperature of the water and the environment were recorded. The studies were conducted in the autumn-winter period of 2019-2020. It is noted that all the analyzed springs belong to the class of low-yield and are organoleptically safe. According to the temperature regime, the water of the studied springs is cold. Discrepancies were found to regulatory requirements for: the content of nitrate ions (18 of 35 springs), total hardness (15), total mineralization (2), total iron content (1). Thus, 15 out of 35 studiedsprings satisfy all the quality indicators for drinking water defined in this work.

Key words: springs, water quality, chemical composition of springs, environmental monitoring, Bryansk region

CITATION: Soboleva O.A., Shchetinckaya O.S., Anishchenko L.N. Ecological and chemical assessment of urban springs in Bryansk region. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2020. Vol. 10. No. 4. Pp. 459–481. (In Russ.) DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-4-459-481

Введение

Брянская область – административный центр староосвоенного региона Нечерноземья РФ – богата выходами родников, изучение которых входит в целевую программу «Формирование Атласа родников и мониторинг», реализуемую с 2010 г.

Родники как выходы подземных и грунтовых вод на земную поверхность представляют собой уникальные природные объекты, несущие значительную научную ценность. Химический состав родниковых вод разнообразен и определяется, главным образом, составом разгружающихся подземных вод и общими гидрогеологическими условиями района.

Актуальность эколого-химического мониторинга родников обусловлена тем, что любое воздействие на окружающую среду приводит к нарушениям природных объектов и, в первую очередь, водных ресурсов, которые аккумулируют все виды загрязнений, особенно химических. Загрязнения природных вод связаны с высоким уровнем техногенеза, причем наибольшие антропогенные нагрузки на экосистемы родников наблюдаются в теплое время года [Зуева, Китаев, 2010; Бобров, Бышевская, 2016; Орехова, 2019]. Воздействие на родники проявляется, прежде всего, через их использование и обустройство, что приводит к несоответствию нормам СанПиН. Систематический контроль за качеством родниковых вод позволяет своевременно устанавливать факт и причины его изменения, исключая неблагоприятное воздействие на здоровье человека.

Исследования многочисленных родников в Нечерноземье РФ посвящены гидрохимии вод во временном разрезе [Шкаликов, Анкинович, 2013; Васюков, Шленкин, 2019]. Обнародованные данные анализов повсеместно выявляют загрязненность воды родников урбоэкосистем нитратным азотом.

Исследования по определению эколого-химических показателей родниковых вод Брянской области ведутся с 2012 г. [Жмакина, Плевако, Беликова, 2012; Плевако, Леонова, Зверева, Анищенко, 2014]. Исследователями предложена программа по химико-биологическому и рекреационному мониторингу родников, создана исходная мониторинговая база, ведение и дополнение которой – приоритетное направление по реализации программы «Вода России».

Цель работы – определение эколого-химических характеристик вод родников на территориях городских поселений Брянской области для ведения мониторинговой базы по направлению «Гидрохимия». Объект исследования – городские родники Брянской области. В процессе ведения гидрохимической мониторинговой базы предполагалось выявить

приоритетные показатели наблюдений за водами, перспективность многократных исследований эколого-химических данных родников, текущее состояние органолептики и гидрохимии.

Материалы и методы исследования

Территория Брянщины расположена в центральной части Восточно-Европейской платформы, простираясь от западной окраины Среднерусской возвышенности в сторону Днепровско-Припятской низменности и Смоленско-Московской возвышенности. Она находится на северо-западной окраине Воронежского кристаллического массива докембрийского времени, возраст которого более 570 млн лет. В ее строении выделяют два структурных этажа: нижний, кристаллический фундамент, и верхний, осадочный чехол [Шевченкова, 1994]. Кристаллический фундамент сложен смятыми в складки породами архея и раннего протерозоя (AR-PR1), а осадочный чехол – относительно спокойно залегающими отложениями позднего протерозоя (PR2), палеозоя (PZ), мезозоя (MZ), кайнозоя (KZ).

Климат Брянской области умеренно континентальный с теплым летом и умеренно холодной зимой. Средняя годовая температура колеблется от +4,5 °С в северных районах (Рогнедино) до +5,9 °С в южных (Севск). Средняя температура июля (самый теплый месяц года) – плюс 17,9 °С, января (самый холодный месяц года) – минус 8,5 °С.

Сбор сведений базы Атласа родников включает работу по инвентаризации и учету: определение местонахождения родника, характера его использования населением, дебита родника, органолептических и физико-химических показателей вод. Исследования проводились маршрутным методом, отбор проб и пробоподготовка проводились в соответствии с ГОСТ 31861–2012 «Вода. Общие требования к отбору проб». На месте также регистрировали температуру воды и воздуха.

В процессе работы использовались стандартные методики. Органолептические характеристики определяли на основании ГОСТ Р 57164–2016 «Вода питьевая. Методы определения запаха, вкуса и мутности». Анализ показателей качества проводили по аттестованным методикам: pH – потенциометрическим методом; общую минерализацию (сухой остаток), содержание сульфат-ионов SO_4^{2-} определяли гравиметрией; общую жесткость, содержание хлорид-ионов Cl^- – титриметрически; содержание нитрат-ионов NO_3^-, нитрит-ионов NO_2^- (ГОСТ 33045–2014 «Вода. Методы определения азотсодержащих веществ»), фосфат-ионов PO_4^{3-} (ГОСТ 18309–2014. «Вода. Методы определения фосфорсодержащих веществ»), общее содержание железа – спектрофотометрически

(ГОСТ 4011–72 «Вода питьевая. Методы измерения массовой концентрации общего железа»). Химический анализ проводили на базе лаборатории «Охрана окружающей среды» естественно-географического факультета Брянского государственного университета имени академика И.Г. Петровского.

В статье представлена часть экомониторинговой базы по результатам анализа 35 родников, расположенных на урбанизированных территориях Брянской области: 17 из них – на территории г. Брянска, 10 – на территории, входящей в состав городского округа Брянска, 4 – на территории г. Дятьково, 2 – г. Карачева, 1 – г. Сельцо, 1 – г. Трубчевска.

Вода всех источников активно используется населением: для питьевых и культовых нужд, для полива угодий подсобных хозяйств, для бытовых целей, несмотря на повсеместное снижение утилизационного значения родниковых вод.

При обследовании родников они рассматривались как индикаторные объекты загрязнения подземных вод, т.к. родники обладают исключительной чувствительностью к воздействию антропогенных факторов. Все анализируемые родники по режиму функционирования, согласно М.Е. Альтовскому [Гидрогеология, 1984, с. 149], относятся к постоянным.

Результаты и их обсуждение

Органолептические характеристики изучаемых природных вод представлены в табл. 1.

Санитарно-технические состояния каптажей родников № 1, 8–10, 15, 16, 18, 20, 21, 27, 32–35 и подхода к ним оценены как хорошие, родников № 2–7, 17, 19, 22–26, 28–31 – удовлетворительные, родников № 11–14 – неудовлетворительные.

По дебиту все анализируемые родники, согласно классификации Н.А. Маринова и Н.И. Толстихина, относятся к классу малодебитных. Минимальное значение дебита (0,0125 л/с) зарегистрировано для родника № 30, максимальное (0,883 л/с) – для родника № 19.

По температурному режиму воды исследованных родников относятся к холодным [Справочное руководство гидрогеолога, 1979]. Температура исследуемых родников лежит в диапазоне +5,5–10,6 °С при температуре воздуха от –3 до +1 °С. Температура воды источников зависит, в первую очередь, от особенностей устройства каптажей. Вода родников, накапливающаяся в емкостях (в бетонных колодцах, специально построенных резервуарах и др.), отличается, как правило, более высокой температурой. Родники, каптированные трубой, имеют менее высокую температуру воды. Отмечено, чем больше дебит родника, тем температура воды в них ниже.

ISSN 2500-2961

Таблица 1

Результаты органолептических показателей качества воды изучаемых родников
[Results of organoleptic indicators of water quality of the studied springs]

№	Родник [Spring]	Дебит, л/с [Flowrate, l/s]	Температура в осенне-зимний период, °С [Temperature in the autumn-winter period, °C]	Вкус и привкус [Taste and aftertaste]	Запах [Odor]	Цветность [Color]	Мутность [Turbidity]	Кислотность среды [Acidity]
Родники г. Брянска [*Bryansk springs*]								
1	Памятник природы областного значения «Нижний Судок» [Natural monument of regional significance “Nizhniy Sudok”]	0,218 ± 0,011	9,6	0	0	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,62
2		Подводный [Underwater]	9,1	0	0	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,48
3		Подводный [Underwater]	9,6	0	0	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,46
4		Подводный [Underwater]	4,1	1	2	Слабо-желтая [Faint yellow]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	8,02
5	Парк «Звёздный» [“Zvezdniy” Park]	0,052 ± 0,001	7,9	0	0	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,57

6	Памятник природы областного значения «Верхний Судок» [Natural monument of regional significance “Verkhniy Sudok”]	Подводный [Underwater]	5,2	0	0	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,51
7		Подводный [Underwater]	5,4	2	2	Слабо-желтая [Faint yellow]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,45
8	Ост. Памятник Болгарским патриотам [“Pamyatnik Bolgarskim patriotam” stop]	0,806 ± 0,027	7,5	0	0	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,88
9	Ул. Сакко и Ванцетти [Sakko i Vantsetti street]	0,333 ± 0,011	7,9	0	0	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,76
10		0,254 ± 0,010	8,3	1	1	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,61
11	Ул. Подарная [Podarnaya street]	Подводный [Underwater]	10,6	1	1	Слабо-желтая [Faint yellow]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,25
12		0,139 ± 0,097	6,85	0	0	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	8,05
13		Подводный [Underwater]	7,1	0	0	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,52

ISSN 2500-2961

Продолжение табл. 1

№	Родник [Spring]	Дебит, л/с [Flowrate, l/s]	Температура в осенне-зимний период, °C [Temperature in the autumn-winter period, °C]	Вкус и привкус [Taste and aftertaste]	Запах [Odor]	Цветность [Color]	Мутность [Turbidity]	Кислотность среды [Acidity]
14	Ул. Карачижская [Karachzhskaya street]	Подводный [Underwater]	7,2	0	1	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	8,14
15	Святой источник «Тихвинский» [Holyspring “Tikhvin”]	0,069 ± 0,005	7,1	0	0	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,56
16	Святой источник, ул. Верхняя Лубянка [Holy spring, Verkhyaya Lubyanka street]	0,125 ± 0,004	8	0	0	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,50
17	Мкр-н «Камвольный» [Microdistrict “Kamvolnyi”]	0,121 ± 0,006	9,8	0	0	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,41
Родники на территории, входящей в состав г. Брянска [*Springs in the territory of the city of Bryansk*]								
18	Пос. Чайковичи [Chaikovitchi village]	0,144 ± 0,010	8,6	0	0	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,46
19		0,883 ± 0,053	7,7	0	0	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,35

20	Пос. Бежичи [Bezhitchi village]	0,167 ± 0,022	6,5	0	0	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,79
21		0,241 ± 0,031	6,0	0	0	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	8,02
22		0,0392 ± 0,0018	7,1	1	0	Слабо-желтая [Faint yellow]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,88
23	Пос. Бордовичи [Bordovitchi village]	0,0962 ± 0,0092	7,1	0	1	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,66
24		0,143 ± 0,010	7,0	0	0	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,74
25		0,0417 ± 0,0026	6,9 при +1 [6.9 at air temperature +1]	0	0	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,47
26		0,0238 ± 0,0011	6,3 при +1 [6.3 at air temperature +1]	1	0	Слабо-желтая [Faint yellow]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,73

ISSN 2500-2961

Окончание табл. 1

№	Родник [Spring]	Дебит, л/с [Flowrate, l/s]	Температура в осенне-зимний период, °C [Temperature in the autumn-winter period, °C]	Вкус и привкус [Taste and aftertaste]	Запах [Odor]	Цветность [Color]	Мутность [Turbidity]	Кислотность среды [Acidity]
27	Святой источник иконы Божией Матери «Троеручица» [Holy spring of the icon of the Mother of God “Three-handed”]	0,655 ± 0,057	8,1 при –2 [8.1 at air temperature +1]	1	3 (сульфидный) [3 (sulfide)]	Желтая [Yellow]	Слабо-мутная [Slightly turbid]	6,86
Родники г. Дятьково [*Springs in Dyatkovo*]								
28	Святой источник, ул. Герцена [Holy spring, Herzen street]	Подводный [Underwater]	6,4	0	1	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,60
29	Святой источник, ул. Приозерная [Holy street, Priozyornaya street]	0,0643 ± 0,0063	5,6	0	1	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,62
30	Пер. Жиров [Zhirov side street	0,0125 ± 0,0004	5,5	0	0	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,86
31	«Три колодца» [“Thee wells”]	Подводный [Underwater]	5,7	0	1	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,76

Родник г. Сельцо [*Spring in Seltso village*]								
32	Святой источник Пантелеймона-Целителя [Holy spring of the Healer Panteleimon]	0,118 ± 0,0123	7,1	0	0	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,70
Родник г. Трубчевска [*Spring in Trubchevsk*]								
33	Святой источник Нила Столбенского [Holy spring of Nil Stolbensky]	0,123 ± 0,011	7,8	0	0	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,50
Родники г. Карачева [*Springs in Karachev*]								
34	Святой источник Архистратига Михаила [Holy spring of Archangel Michael]	0,188 ± 0,49	8,0	0	0	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [Not noticeable (absent)]	7,34
35		0,125 ± 0,023	8,1	0	0	Бесцветна [Colorless]	Не заметна (отсутствует) [not noticeable (absent)]	7,39

Измерения концентрации ионов водорода показали, что pH родниковых вод не выходит за пределы нормативного значения и составляет, в среднем, 7,61. Величина pH имеет большое значение для химических и биологических процессов, происходящих в природных водах: показатель определяет развитие и жизнедеятельность водных растений, устойчивость различных форм миграции элементов, агрессивное действие воды на металлы и бетон.

В зависимости от pH исследуемые родниковые воды отнесены к следующим группам: воды родников № 2, 3, 7, 11, 17–19, 25, 27, 34, 35 – нейтральные; воды родников № 1, 4–6, 8–10, 12–16, 20–24, 26, 28–33 – слабо-щелочные [Гидрохимические показатели состояния окружающей среды, 2010].

В целом, воды всех исследуемых родников удовлетворительны по органолептическим характеристикам.

В соответствии с гигиеническими требованиями к качеству питьевой воды интенсивность запаха не должна превышать двух баллов. Из всех исследуемых родников данному показателю не соответствует родник № 27 (Святой источник иконы Божьей матери «Троеручница»), характеризующийся заметным сульфидным запахом. Так как pH данной воды 6,86, то запах обусловлен содержанием H_2S и HS-форм. Главным источником сероводорода и гидросульфид-ионов в поверхностных водах являются восстановительные процессы, притекающие при бактериальном разложении и биохимическом окислении органических веществ естественного происхождения и веществ, поступающих в водоемы со сточными водами. Наличие в природной воде сероводорода служит показателем ее сильного загрязнения и анаэробных условий.

Мутность природных вод вызвана присутствием тонкодисперсных примесей, обусловленных нерастворимыми и коллоидными неорганическими и органическими веществами различного происхождения. По данному показателю все образцы воды соответствуют гигиеническим требованиям.

Цветность природных вод обусловлена, главным образом, присутствием гумусовых веществ и соединений трехвалентного железа, наличие которых зависит от геологических условий, водоносных горизонтов, характера почв, наличия болот и торфяников в бассейне реки и т.п. Высокая цветность воды ухудшает ее органолептические свойства и оказывает отрицательное влияние на развитие водных растительных и животных организмов из-за резкого снижения концентрации растворенного кислорода в воде, который расходуется на окисление

соединений железа и гумусовых веществ. Цветность воды изучаемых родников соответствует установленным нормам.

Результаты химических показателей образцов воды исследованных родников представлены в табл. 2.

Наибольшие отклонения от принятых нормативов отмечены по показателю «общая жесткость»: 23 родника из 35 исследованных не соответствуют нормам ПДК. По данному показателю источники можно разделить на три группы [Всеволожский, 1991]:

1) источники с высоким суммарным содержанием солей Ca и Mg, превышающим значения ПДК (больше 10 °Ж), это родники № 5–7, 11–15, 17–18, 22, 32–35; воды этих родников классифицируются как очень жесткие;

2) вода, соответствующая нормативам по общей жесткости (7–10 °Ж), родники № 1–4, 10, 16, 20, 21, 23–26, тип жестких вод;

3) родники, в воде которых содержание солей Ca и Mg меньше нормы (меньше 7 °Ж), родники № 8, 9, 19, 27–31; по классификации [Всеволжский, 1991] воды родников № 8, 9 жесткие, воды родников № 19, 27–30 – умеренно-жесткие, вода родника № 31 – мягкая.

Таким образом, почти половина (15 из 35) изучаемой родниковой воды относится к группе очень жёстких: средняя жесткость воды – 9,6 °Ж. Постоянное применение природной воды может привести к нарушению функции почек, сердечно-сосудистой системы, опорно-двигательного аппарата и органов пищеварения [Степанов, 2015].

Завышенные показатели общей жесткости обусловлены особенностями геологического строения Брянской области, т.к. основная водоносная порода для родников имеет карбонатное сложение (мел, мергель, трепел).

Повышенное количество соединений азота в природных водах свидетельствует о загрязнении водоисточника. Нитраты поступают в природные воды со сточными водами и со стоком с сельскохозяйственных угодий. Азот – это один из первостепенных биогенных элементов, что обусловливает применение его соединений в качестве удобрений, но с этим же связан вклад вынесенного с сельскохозяйственных земель азота в развитие процессов эвтрофикации. По ландшафтным условиям участки расположения большинства изучаемых родников приходятся на сельскохозяйственные районы. Превышение содержания нитратов обусловлено еще и достаточно незначительной глубиной водоносного слоя (от 7–8 до 10–15 м), также родники не защищены от канализационных и иных стоков.

ISSN 2500-2961

Таблица 2

Результаты химического анализа исследованных родников
[The results of the chemical analysis of the studied springs]

Родник [Spring]	**pH**	**Нитрат-ионы NO_3^-, мг/л [Nitrate ions NO_3^-, mg/l]**	**Нитрит-ионы NO_2^-, мг/л [Nitrite ions NO_2^-, mg/l]**	**Фосфат-ионы PO_4^{3-}, мг/л [Phosphate ions PO_4^{3-}, mg/l]**	**Хлорид-ионы Cl^-, мг/л [Chloride ions Cl^-, mg/l]**	**Общая жесткость, °Ж [Total hardness]****	**Железо общее, мг/л [Total iron, mg/l]**	**Сульфат-ионы SO_4^{2-}, мг/л [Sulfate ions SO_4^{2-}, mg/l]**	**Общая минерализация (сухой остаток), мг/л [Total mineralization (dry residue), mg/l]**	**Цинк, мг/л [Zinc, mg/l]**
*ПДК [MAC]**	*6–9*	*45*	*3,3*	*3,5*	*350*	*7–10*	*0,3*	*500*	*1000*	*5*
1	7,62	**69,5**	0,014	0,35	54,2	7,9	0,067	65,6	553	1,42
2	7,48	**59,2**	$9{,}2 \cdot 10^{-3}$	0,63	54,6	8,2	0,069	79,1	600	0,97
3	7,46	**57,1**	$6{,}9 \cdot 10^{-3}$	0,38	47,0	8,1	0,079	63,1	542	1,18
4	8,02	1,98	0,052	0,90	69,7	7,7	0,16	69,6	**1131**	1,62
5	7,57	**122**	0,021	0,65	95,4	**10,8**	Следы [Traces]	60,5	956	0,61
6	7,51	**109**	Следы [Traces]	1,61	33,7	**10,3**	Следы [Traces]	81,1	512	1,06
7	7,45	3,56	0,011	1,96	33,2	**10,2**	Следы [Traces]	79,8	539	0,85

8	7,88	12,4	$5,7 \cdot 10^{-3}$	1,08	5,5	6,2	Следы [Traces]	1,0	401	0,18
9	7,76	42,6	$6,0 \cdot 10^{-3}$	0,36	9,5	6,4	Следы [Traces]	8,2	412	Следы [Traces]
10	7,61	26,0	$9,2 \cdot 10^{-3}$	0,51	21,4	7,3	Следы [Traces]	18,9	389	Следы [Traces]
11	7,25	**137**	$9,5 \cdot 10^{-3}$	0,32	111	**11,8**	0,10	77,3	924	Следы [Traces]
12	8,05	**164**	0,013	0,31	106	**10,3**	0,074	471	**1054**	Следы [Traces]
13	7,52	**168**	0,017	0,78	96,3	**12,3**	0,094	450	960	Следы [Traces]
14	8,14	**110**	0,026	0,39	103	**20,1**	0,11	38,3	771	1,12
15	7,56	**146**	0,014	1,58	87,8	**11,2**	0,074	94,7	459	1,33
16	7,50	4,37	$7,2 \cdot 10^{-3}$	0,77	72,0	8,7	0,086	62,5	566	0,19
17	7,41	**69,9**	0,019	1,09	33,1	**11,6**	0,086	129	537	0,31
18	7,46	**99,2**	0,019	0,61	60,8	**10,6**	0,077	157	642	Следы [Traces]
19	7,35	**63,5**	0,013	0,64	36,3	6,3	0,063	69,6	425	0,82
20	7,79	8,15	0,014	0,30	14,7	8,3	0,12	40,4	101	0,88
21	8,02	2,06	0,023	0,35	9,5	9,2	0,11	38,8	188	0,48

ISSN 2500-2961

Окончание табл. 2

Родник [Spring]	**pH**	**Нитрат-ионы NO_3^-, мг/л [Nitrate ions NO_3^-, mg/l]**	**Нитрит-ионы NO_2^-, мг/л [Nitrite ions NO_2^-, mg/l]**	**Фосфат-ионы PO_4^{3-}, мг/л [Phosphate ions PO_4^{3-}, mg/l]**	**Хлорид-ионы Cl^-, мг/л [Chloride ions Cl^-, mg/l]**	**Общая жесткость, °Ж [Total hardness]****	**Железо общее, мг/л [Total iron, mg/l]**	**Сульфат-ионы SO_4^{2-}, мг/л [Sulfate ions SO_4^{2-}, mg/l]**	**Общая минерализация (сухой остаток), мг/л [Total mineralization (dry residue), mg/l]**	**Цинк, мг/л [Zinc, mg/l]**
22	7,88	**47,0**	0,017	0,69	20,2	**10,2**	0,084	39,6	582	3,2
23	7,66	**75,9**	0,014	0,44	14,4	9,7	0,096	43,1	468	1,19
24	7,74	28,8	0,023	0,85	10,1	8,3	0,082	32,8	302	1,47
25	7,47	13,1	0,033	0,51	15,3	9,7	0,14	51,8	438	Следы [Traces]
26	7,73	34,3	0,032	0,26	19,0	9,2	0,068	96,7	408	0,92
27	6,86	следы	0,018	0,55	37,4	3,2	0,89	441	416	0,37
28	7,60	8,88	0,011	1,39	17,4	6,3	0,076	54,2	299	0,36
29	7,62	12,6	0,012	1,34	9,9	4,7	0,099	50,6	352	1,68
30	7,86	0,681	0,021	0,47	3,8	5,5	0,13	Следы [Traces]	259	0,19
31	7,76	3,96	0,022	1,36	6,1	1,9	0,072	2,5	246	Следы [Traces]

32	7,70	28,8	0,014	0,47	21,5	**12,6**	Следы [Traces]	38,7	379	0,22
33	7,50	**166**	0,010	2,19	57,1	**16,7**	0,075	103	783	1,28
34	7,34	**158**	0,022	0,67	93,6	**14,4**	0,10	102	697	1,46
35	7,39	**153**	0,019	0,81	93,2	**13,6**	**0,35**	42,6	645	1,62

Примечание. * Предельно допустимая концентрация принималась согласно ГН 2.1.5.1315–03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования» (http://docs.cntd.ru/document/901862249).
** Жесткость воды определялась по ГОСТ 31865–2012 «Вода. Единица жесткости» (http://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=181004).
Полужирным в таблице выделены значения, превышающие предельно допустимые концентрации химических веществ.

[*Note.* * The maximum permissible concentration was taken according to the Hygienic Standard of the Russian Federation 2.1.5.1315–03 “Maximum permissible concentration (MPC) of chemicals in the water of water bodies of domestic drinking and cultural-domestic water use” (http://docs.cntd.ru/document/901862249).
** Water hardness was determined according to the State Standard of the Russian Federation 31865–2012 “Water. Hardness unit”.
Values exceeding the maximum permissible concentration of chemicals are highlighted in bold in the table.]

Содержания нитратов выше 45 мг/л указывает на ухудшение санитарного состояния водного объекта. Данный показатель превышен в водах родников № 1–3, 5, 6, 11–15, 17–19, 22, 23, 33–35. При воздействии на человека различают: первичную токсичность собственно нитрат иона; вторичную – связанную с образованием нитрит-иона; третичную – обусловленную образованием из нитритов и аминов канцерогенных нитрозаминов, токсическое воздействие которых проявляется тканевой гипоксией, угнетением иммунитета и повышением риска злокачественных новообразований [Орехова, 2012].

Нитриты представляют собой промежуточную ступень в цепи бактериальных процессов окисления аммония до нитратов и наоборот – восстановления нитратов до аммония и азота. Содержание нитритов – важный санитарный показатель, т.к. повышение концентрации нитрит-ионов указывает на усиление процессов разложения органических веществ в условиях более медленного окисления NO_2^- в NO_3^-, что указывает на загрязнение водного объекта. Воды всех исследованных родников имеют показатель значительно ниже ПДК (максимальное содержание нитритов отмечено в роднике № 4 – 0,0517).

Сухой остаток – это сумма всех примесей воды, характеризующая общую минерализацию воды. Средняя минерализация исследуемых родников составляет 543 мг/л. Природная вода родников № 20, 21 относятся к группе ультрапресных родников, № 8–10, 15, 19, 23–32 – пресных, воды родников № 1–7, 11–14, 16–18, 22 характеризуются повышенной и высокой минерализацией [Гидрохимические показатели состояния окружающей среды, 2010].

Содержание сульфат- и хлорид-ионов во всех изучаемых образцах родниковых вод соответствует принятым нормативам. Основной источник поступления сульфатов в природные воды – химическое выветривание и растворение серосодержащих минералов. Среднее содержание сульфатов в исследуемых городских родниках – 93,8 мг/л (максимальный показатель – 471,7 мг/л в воде родника № 12). Среднее содержание хлорид-иона – 45,2 мг/л (максимальный показатель – 111,0 мг/л в роднике № 11).

Определение содержания общего железа имеет наибольшее значение для характеристики воды. Высокое содержание железа в пищевом рационе может вызвать сидероз печени и селезенки и связанные с ними случаи остеопороза позвонков. Из всех исследуемых родников только родник № 35 не удовлетворяет принятым санитарным нормам. Исследуемый родник – один из серии Родника Святого Михаила Архангела в г. Карачеве, поэтому превышение этого показателя свидетельствует о неблагополучном состоянии каптажа.

Содержание активного микроэлемента цинка во всех родниковых водах удовлетворяет санитарно-гигиеническим нормам. Присутствие цинка в природной воде может являться индикатором содержания других тяжелых металлов, в первую очередь – кадмия, отличающегося более высокой токсичностью.

Таким образом, в пробах родниковых вод были обнаружены несоответствие нормативным требованиям по содержанию нитрат-ионов (18), общей жесткости (15 из 35 родников), общей минерализации (2), содержанию общего железа (1) (табл. 3). Доля соответствующих установленным нормативам проб городских родников в осенне-зимний период составляет 57,1%.

Таблица 3

Пробы, превышающие установленные нормативы ПДК [Samples exceeding the established MPC standards]

Показатель [Index]	Доля проб, % [Proportion of samples, %]
Содержание нитрат-ионов NO_3^- [Nitrate ions NO_3^-]	51,4
Общая жесткость [Total hardness]	42,8
Общая минерализация (сухой остаток) [Total mineralization (dry residue)]	5,7
Железо общее [Total iron]	2,8

Выводы

В целом мониторинговая база, пополняемая сведениями по органолептике и гидрохимии родниковых вод, составляет 197 источников, из них непосредственно расположенных в черте малых, средних и крупных урбоэкосистем Брянской области – 56. Ввиду расположения родников в городских ландшафтах их воды подвержены сочетанному техногенно-химическому воздействию, а прилегающие урочища – значительной рекреационной нагрузке, что снижает дебит вод, ускоряет миграцию загрязнителей.

Проведенные исследования показали, в целом, благополучное состояние городских родников староосвоенных ландшафтов Брянской области по органолептическим показателям.

Содержание железа, нитрит-, фосфат-, хлорид-, сульфат-ионов удовлетворяет принятым санитарно-гигиеническим нормам во всех исследованных пробах родниковых вод.

По содержанию железа общего выявлено несоответствие ПДК для 1 родника из 35 изученных.

Несоответствие нормативным требованиям обнаружено по содержанию нитрат-ионов: 51,4% родников имеют превышение ПДК, 42,8% родников не удовлетворяют показателю «общая жесткость». Показатели нитрат-ионов используются в базовом мониторинге питьевых вод и позволяют проводить их ранжирование на группы: «чистые» – превышение концентрации нитратов не зарегистрировано ни в одном исследовании, «условно чистые» – выявлено превышение нитрат-ионов незначительное число раз, «загрязненные» – превышение концентрации нитратов фиксируется постоянно. К категории «чистые» рекомендовано отнести 15 родников (№ 4, 7, 8, 10, 16, 20, 21, 24, 25, 27–32), «условно чистые» – 3 (№ 9, 22, 26), «загрязненные» – 17 (№ 1–3, 5, 6, 11–15, 17–19, 23, 33–35).

Для староосвоенного региона – Брянской области – ведение постоянного мониторинга гидрохимических показателей городских родников обязательно, особенно по химически значимым индикаторным показателям: содержанию нитрат-ионов, общей жесткости, содержанию железа общего. Постоянного мониторингового контроля требуют родники Карачевского, Трубчевского районов и родники г. Брянска, испытывающие интенсивное антропогенное воздействие, обусловленное отбором вод на хозяйственно-питьевые нужды (родники № 15–18, 22, 23). Все родники этих городских поселений окружены сельскохозяйственными угодьями, поэтому за весь период наблюдений зафиксировано превышение содержание нитратов в водах, а высокая скорость миграции карбонат-ионов (магниевые и кальциевые соли) из водоносных горизонтов четвертичного периода постоянно повышает показатели общей жесткости.

Итог мониторинга за эколого-химическим состоянием вод – создание информационных бюллетеней для населения при активном использовании родников в малых городских поселениях при религиозных обрядах, в местах рекреации. Также важно решить задачу, поставленную в рамках Федерального закона «О водоснабжении и водоотведении» (2011) об обеспечении экобезопасности водоисточников – городских родников в свете сохранения здоровья населения при использовании питьевых вод.

Библиографический список / References

Бобров Е.А., Бышевская А.В. Гидроэкологическое состояние естественных выходов подземных вод на территории г. Смоленска // Смоленский медицинский альманах. 2016. № 1. С. 31–34. [Bobrov E.A., Byshevskaya A.V.

Hydroecological state of natural groundwater outcrops in the territory of Smolensk. *Smolenskiy meditsinskiy almanah*. 2016. No. 1. Pp. 31–34 (In Russ.)].

Васюков А.Е., Шленкин Н.А. К вопросу методики оценки загрязнения подземных вод нитратами и «свежими» нитритами на примере родниковых вод территории Калуги // Проблемы региональной экологии. 2019. № 5. С. 59–62. [Vasyukov A.E., Shlenkin N.A. To the question of the methodology for assessing groundwater pollution by nitrates and "fresh" nitrites by the example of spring waters of Kaluga. *Problemy regionalnoy ekologii.* 2019. No. 5. Pp. 59–62. (In Russ.)]

Всеволожский В.А. Основы гидрогеологии. М., 1991. [Vsevolozhsky V.A. Osnovy gidrogeologii [Fundamentals of hydrogeology]. Moscow, 1991.]

Гидрогеология / Под ред. В.М. Шестакова, М.С. Орлова. М., 1984. [Gidrogeologiya [Hydrogeology]. V.M. Shestakov, M.S. Orlov (eds.). Moscow, 1984.]

Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы / Под ред. Т.В. Гусевой. М., 2010. [Gidrohimicheskie pokazateli sostoyaniya okruzhayushchey sredy: spravochnye materialy [Hydrochemical indicators of the state of the environment: Reference materials]. T.V. Guseva (ed.). Moscow, 2010.]

Жмакина Ю.В., Плевако Л.С., Беликова М.С. Гидрохимический и биологический мониторинг поверхностных вод бассейна р. Десна // Трансграничное сотрудничество в области экологической безопасности и охраны окружающей среды. Гомель, 2012. С. 221–225. [Zhmakina Yu.V., Plevako L.S., Belikova M.S. Hydrochemical and biological monitoring of surface waters of the river basin Desna. *Transgranichnoe sotrudnichestvo v oblasti ekologicheskoy bezopasnosti i ohrany okruzhayushchey sredy*. Gomel, 2012. Pp. 221–225. (In Russ.)]

Зуева Т.В., Китаев А.Б. Качество воды в родниках города Перми (по материалам 2002–2007 гг.) // Географический вестник. 2010. № 1. С. 42–45. [Zueva T.V., Kitaev A.B. Water quality in the springs of the city of Perm (based on materials from 2002–2007). *Geographical Bulletin*. 2010. No. 1. Pp. 42–45. (In Russ.)]

Никаноров А.М. Гидрохимия. СПб., 2001. [Nikanorov A.M. Gidrohimiya [Hydrochemistry]. St. Petersburg, 2001.]

Орехова Г.А. Геоэкологические особенности формирования родников верховий бассейнов рек Северский Донец и Ворскла под влиянием природных и антропогенных факторов: Дис. … канд. геогр. наук. Белгород, 2019. [Orekhova G.A. Geoekologicheskie osobennosti formirovaniya rodnikov verhovij bassejnov rek Severskij Donec i Vorskla pod vliyaniem prirodnyh i antropogennyh faktorov [Geoecological features of the formation of the springs of the upper basins of the Seversky Donets and Vorskla rivers under the influence of natural and anthropogenic factors]. PhD dis. Belgorod, 2019.]

Орехова Г.А., Новых Л.Л., Соловьев А.Б. Нитратное загрязнение родниковых вод Яковлевского района Белгородской области // Проблемы региональной экологии. 2012. № 2. С. 55–57. [Orekhova G.A., Novykh L.L., Soloviev A.B. Nitrate pollution of spring waters of the Yakovlevsky district of the Belgorod region. *Problemy regionalnoy ekologii*. 2012. No. 2. Pp. 55–57. (In Russ.)]

Экологическое состояние родников (на примере Брянской области) / Плевако Л.С., Леонова А.Е., Зверева А.Ю., Анищенко Л.Н. // Вестник БГУ. Точные и естественные науки. 2014. № 4. С. 155–160. [Plevako L.S., Leonova A.E., Svereva A.Yu., Anishchenko L.N. Ecological state of springs (on the example of the Bryansk region). *Vestnik BGU. Tochnye i estestvennye nauki*. 2014. No. 4. Pp. 155–160. (In Russ.)]

Степанов Н.А, Заводова Е.И. Характеристика влияния качественного состава питьевой воды на здоровье человека // Гигиена труда и медицинская экология. 2015. № 3. С. 207–212. [Stepanov N.A., Zavodova E.I. Description of the influence of the qualitative composition of drinking water on human health. *Gigiena truda i meditsinskaya ekologiya.* 2015. No. 3. Pp. 207–2012. (In Russ.)]

Шевченкова Т.Ф. Геология Брянской области. Брянск, 1992. [Shevchenkova T.F. Geology of the Bryansk region. Bryansk, 1992.]

Шкаликов В.А., Анкинович И.В. Химический состав основных источников подземных вод территории г. Смоленска // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2013. № 5. С. 448–454. [Shkalikov V.A., Ankinovich I.V. The chemical composition of the main sources of groundwater in the city of Smolensk. *Aktualnye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk*. 2013. No. 5. Pp. 448–454. (In Russ.)]

Статья поступила в редакцию 21.03.2020, принята к публикации 17.08.2020
The article was received on 21.03.2020, accepted for publication 17.08.2020

Сведения об авторах / About the authors

Соболева Ольга Александровна – аспирант кафедры географии, экологии землеустройства естественно-географического факультета; Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского

Olga A. Soboleva – graduate student at the Department of Geography, Ecology of Land Management of the Faculty of Natural Sciences and Geography, Bryansk State Academician I.G. Petrovski University

E-mail: OAsoboleva@bk.ru

Щетинская Ольга Стефановна – кандидат химических наук; доцент кафедры химии естественно-географического факультета естественно-географического факультета, Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского

Olga S. Schchetinskaya – PhD in Chemistry; assistant professor at the Department of Chemistry of the Faculty of Natural Sciences and Geography, Bryansk State Academician I.G. Petrovski University

E-mail: olga_schetinskaya@mail.ru

Анищенко Лидия Николаевна – доктор сельскохозяйственных наук; профессор кафедры географии, экологии землеустройства естественно-географического факультета; Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского

Lydia N. Anishchenko – Dr. Hab. (Agricultural Sciences); Professor at the Department of Geography, Ecology of Land Management of the Faculty of Natural Sciences and Geography, Bryansk State Academician I.G. Petrovski University

E-mail: eco_egf@mail.ru

Заявленный вклад авторов

О.А. Соболева – химический анализ родниковых вод, интерпретация результатов, подготовка текста статьи

О.С. Щетинская – общее руководство направлением исследования

Л.Н. Анищенко – общее руководство направлением исследования, интерпретация результатов, подготовка текста статьи

Contribution of the authors

O.A. Soboleva – chemical analysis of spring water, interpretation of the results, preparation of the text of the article

O.S. Shchetinskaya – general direction of research

L.N. Anishchenko – general direction of research, interpretation of the results, preparation of the text of the article

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи
All authors have read and approved the final manuscript

Аналитические обзоры

Обзорная статья

DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-4-482-509

О.Н. Ткаченко[1], В.Б. Дорохов[1], В.В. Дементиенко[2]

[1] Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской академии наук,
117485 г. Москва, Российская Федерация

[2] Институт радиотехники и электроники имени В.А.Котельникова Российской академии наук,
125009 г. Москва, Российская Федерация

Психофизиологические аспекты поддержания оптимального уровня внимания водителей при частично автоматизированном вождении автомобиля

Вождение автомобиля – сложная задача, требующая от водителя высокого уровня бдительности, концентрации и хорошей реакции. В развитых странах за руль регулярно садится большое количество людей, и число жертв автомобильных аварий достигает 1,35 млн в год. В 90% случаев причиной аварии становится человеческий фактор: засыпание за рулем, отвлечение водителя от дороги, агрессивное вождение. С этим связан тренд частичной автоматизации транспортных средств, в частности, автомобилей. «Умные» системы управления, способные контролировать положение относительно центра полосы,

© Ткаченко О.Н., Дорохов В.Б., Дементиенко В.В., 2020
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License
The content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

скоростной режим, освобождают водителя от необходимости ежесекундно следить за дорогой, облегчая вождение, однако тем самым приводят к рассеянию внимания, нарастанию скуки и сонливости. При дальнейшем распространении частично автоматизированных автомобилей доля связанных с отвлечениями и засыпанием дорожно-транспортных происшествий будет расти. В работе рассмотрены следующие методики поддержания внимания к задаче и борьбы с сонливостью при выполнении монотонной операторской деятельности: воздействие коротковолнового (голубого) света, снижение температуры окружающей среды, запаховая стимуляция, аудиостимуляция, вибростимуляция. По результатам обзора наиболее перспективными оказались: голубой свет (применение ограничено ночным временем суток), снижение температуры, запаховая стимуляция эфирным маслом мяты перечной, вибростимуляция. Аудиостимуляция не может широко применяться в ситуации вождения, поскольку большинство водителей в дороге слушает музыку. Пробуждающие эффекты всех перечисленных техник, кроме фоново предъявляемого голубого света, непродолжительны и составляют порядка 5–10 минут.

Ключевые слова: вождение автомобиля, операторская деятельность, сонливость, внимание, частично автоматизированные автомобили

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Российской академии наук и Российского фонда фундаментальный исследований, грант № 19-29-06071.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ: Ткаченко О.Н., Дорохов В.Б., Дементиенко В.В. Психофизиологические аспекты поддержания оптимального уровня внимания водителей при частично автоматизированном вождении автомобиля // Социально-экологические технологии. 2020. Т. 10. № 4. С. 482–509. DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-4-482-509

Review article

DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-4-482-509

O.N. Tkachenko[1], V.B. Dorokhov[1], V.V. Dementienko[2]

[1] Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of Russian Academy of Sciences, Moscow, 117485, Russian Federation

[2] Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics of Russian Academy of Sciences, Moscow, 125009, Russian Federation

Psychophysiological aspects of maintaining drivers' optimal attention level while driving semi-autonomous cars

Driving is a challenging task that requires a high level of alertness, concentration and good reaction from the driver. In developed countries, where a lot of people driveon a regular basis, the number of car accident victims reaches 1.35 million annually. 90% of all accidents are caused by human factor, particularly by drowsiness, distraction and aggressive driving. Thus, semi-autonomous vehicles, cars in particularare becoming more and more popular. Smart control systems, able to control lane position and car speed, free the driver from continuous routine during driving, thus leading to more distraction, boredom and drowsiness. While semi-autonomous cars spread all around the world, there will be less accidents caused by aggressive driving, but more caused by distractions and drowsiness. In this paper we review contemporary techniques of sustaining operator attention to the monotonous tasks and their applicability to real driving tasks. The following methods were reviewed: blue light exposition, cooled air, odor stimulation, audio and vibration stimulation. Blue light exposition was found to be effective during night driving sessions. Audio stimulation should not be recommended for drivers asthe majority of them listen to music while driving. Cool air, peppermint odor and vibration stimulation seem to be effective for sustaining alertness, however, not for long (about 5–10 minutes).

Key words: car driving, operator work, drowsiness, semi-autonomous cars, attention

Acknowledgements. The work is performed with the support of the Russian Academy of Sciences and the Russian Foundation for Basic Research, grant No. 19-29-06071.

CITATION: Tkachenko O.N., Dorokhov V.B., Dementienko V.V. Psychophysiological aspects of maintaining drivers' optimal attention level while driving semi-autonomous cars. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2020. Vol. 10. No. 4. Pp. 482–509. (In Russ.) DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-4-482-509

Введение

Вождение автомобиля – сложная задача, которая предъявляет высокие требования к когнитивным способностям, быстроте реакции и уровню внимания водителя [Sawyer et al., 2012]. Однако в развитых странах за руль автомобиля регулярно садится большинство людей трудоспособного возраста. В результате автомобильных аварий ежегодно умирает 1,35 млн человек (World Health Organization, Global Status Report on Road Safety – Summary (2018), https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/GSRRS2018_Summary_EN.pdf), и в 90% случаев причиной аварии является человеческий фактор [Hendricks et al., 2001; Otte et al., 2009; Singh, 2015]. При этом до 20% ДТП с летальным исходом приходится на усталость и засыпание (Национальное управление безопасностью движения на трассах США, "Drowsy Driving and Research Program Plan", 2016, www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/drowsydriving_strategicplan_030316.pdf). Также значительная часть ДТП, по данным той же организации, связана с отвлечением от дороги (около 25%) и агрессивным вождением. С этим связан тренд автоматизации управления средствами передвижения, в частности, автомобилями.

Развитие технологий искусственного интеллекта уже привело к появлению частично автоматизированных транспортных средств, и в ближайшее десятилетие эти тенденции будут усиливаться. Вместо ежесекундного управления всеми аспектами движения водитель частично автоматизированного транспортного средства в большей степени занят супервизией работы алгоритмов, заложенных в автомобиле, и принимает на себя управление лишь в сложных ситуациях. С одной стороны, это делает вождение менее напряженным, с другой – приводит к рассеянию внимания и его снижению [Kundinger et al., 2019]. В результате увеличивается время реакции и вероятность засыпания за рулем, что может иметь катастрофические последствия для участников движения [Körber et al., 2015]. Вследствие этого в ближайшие годы частичная автоматизация вождения приведет к снижению доли агрессивных действий

участников в общем числе ДТП и повышению доли ДТП, связанных с засыпанием и отвлечением.

Таким образом, актуальной становится проблема поддержания бдительности водителя в ситуации, не требующей от него ежесекундных действий [Collet, Musicant, 2019]. С другой стороны, мы наблюдаем бурное развитие бесконтактных систем мониторинга состояния человека и алгоритмов анализа, например, видеокамер, автоматически распознающих мимику, закрытие глаз и даже сердцебиение по неразличимым для эксперта колебаниям яркости освещенности лица. На их основе можно разработать адаптивные алгоритмы, который будет подстраиваться под состояние водителя и подавать активирующие стимулы только в моменты, когда это требуется, что позволит избежать раздражения со стороны водителя и сделать вождение максимально комфортным. Машинное обучение и нейросетевые модели уже позволяют сделать такие классификаторы достаточно точными (см., например, [Singh et al., 2013] – точность около 90%).

Ранее нами была приведена аргументация [Дементиенко, Дорохов, 2013], что наиболее безопасными системами для поддержания необходимого уровня бодрствования оператора являются системы с принудительной активацией (инициализацией) оператора в моменты с критическим снижением уровня бодрствования и потерей внимания. Важным звеном при построении такой системы безопасности является выбор оптимальной методики поддержании работоспособности для конкретного вида деятельности.

В данной статье приведен краткий обзор известных на данный момент методик поддержания внимания, которые могут быть актуальны в ситуации управления частично автоматизированным автомобилем: вибростимуляция, аудиостимуляция, музыка, запаховые стимулы. Также рассмотрены способы физиологические показатели, по которым может быть оценено состояния водителя.

Показатели внимания

Не только психофизиологам, но и практически любому человеку хорошо знакома одна из главных характеристик внимания: привыкание к повторяющимся незначимым стимулам, или габитуация [Соколов, 1958; Gray, 1975]. Поэтому мало подобрать стимулы, которые возвращали бы внимание задремавшего или замечтавшегося водителя к дороге. Для того, чтобы не происходило привыкания, нужно подавать их только в те моменты, когда состояние водителя может помешать ему оперативно отреагировать на внештатную ситуацию.

Поведенческие показатели (частота коррекции положения руля, расстояние до центра полосы, соблюдение скоростного режима и аналогичные им) неплохо зарекомендовали себя в ситуации ручного вождения. Однако именно эти параметры в штатных ситуациях контролируются системой «умного управления» автоматизированного автомобиля, а значит, их нельзя использовать для оценки состояния водителя.

Как уже упоминалось выше, отвлечение внимания и неспособность водителей полностью сосредоточиться на дороге являются одними из основных причин дорожно-транспортных происшествий. Само определение бдительности включает сосредоточение на выполняемой задаче [Parasuraman, 1998]. Внимание к дороге, вообще говоря, может снижаться не только из-за сонливости либо утомления, но также из-за отвлечения, например, на разговор по телефону или даже просмотр на нем развлекательного содержимого. Национальное управление безопасностью движения на трассах США разработало методичку, в которой подчеркивается вред отвлечения на посторонние стимулы во время вождения. Можно предположить, что отвлечение водителя от дороги на телефон не слишком изменит его функциональное состояние и вряд ли отразится в физиологических параметрах, поскольку в обоих случаях он будет решать некоторые когнитивные задачи. Здесь можно порекомендовать систему видеослежения, которая котролировала бы направление взгляда по положению головы и координатам зрачков водителя (современные айтрекеры давно и успешно решают такие задачи). Поэтому далее мы сосредоточимся на состоянии монотонии, переходящем в дремотное.

Монотонию следует отличать от умственной усталости, которая возникает в ситуации повышенных, а не сниженных требований задачи к вниманию и когнитивным способностям. Развитие монотонии связано со снижением уровня бодрствования и переходом в т.н. дремотное состояние, предшествующего засыпанию. В ряде исследований было показано, что сам водитель не может объективно оценивать свое состояние [Moller et al., 2006; Schmidt et al., 2009; Aanuolupo, 2019], поэтому необходимо отслеживать его независимыми объективными методами, по физиологическим или поведенческим критериям.

Развитие дремотного состояния затрагивает не только мозг, но и периферические отделы нервной системы [Oken, Salinsky, Elsas, 2006]. Эти процессы отражаются в первую очередь в электроэнцефалограмме (ЭЭГ) человека: спектр ЭЭГ смещается в низкочастотную область, нарастает мощность альфа- и тета-ритмов, снижается мощность бета-ритма. Тем не менее, ЭЭГ обладает значительной межиндивидуальной вариабельностью, поэтому требует настройки алгоритма

критического снижения уровня бодрствования. В последнее десятилетие было разработано много портативных носимых устройств, регистрирующих несколько каналов ЭЭГ, обрабатывающих ее и дающих обратную связь в реальном времени (см., например, обзор [Minguillon, Lopez-Gordo, Pelayo, 2017]), а современные технологии позволяют применять для анализа в реальном времени как алгоритмы машинного обучения, так и предварительно обученные на больших объемах данных нейросети. Уже разработаны программные библиотеки, извлекающие из ЭЭГ показатели функционального состояния, например, SDK (Suite Development Kit) of Neuro-Headset Emotiv EPOC от компании EMOTIV.

Другим перспективным подходом к оценке состояния водителя являются айтрекеры и видеокамеры, которые на данный момент способны автоматически отслеживать мимику, положение головы и глаз испытуемых [Hecht et al., 2018]. Хорошими коррелятами дремотного состояния, изменения которых предшествуют появлению ошибок вождения, являются зевки, степень закрытия глаз веками, частота морганий, диаметр зрачка [Körber et al., 2015], замедление саккадических движений глаз [Morales et al., 2017]. Аналогичные изменения ЭЭГ и параметров движений глаз при снижении уровня бдительности были показаны и в наших работах предыдущих лет [Ткаченко, 2012; Микросон..., 2013; Dorokhov et al., 2013; Прогнозирование..., 2014; Ткаченко и др., 2015].

Менее однозначными, но также перспективными показателями для оценки уровня бодрствования являются изменение вариабельности сердечного ритма и фазической компоненты кожно-гальванической реакции (КГР). Изменения фазической компоненты КГР при засыпании подробно рассматривались в работах [Wright, McGown, 2001; Телемеханическая система..., 2017]. Много работ по дремотному состоянию также посвящено изменению вариабельности RR-интервала сердечного ритма, который легко регистрировать и на современном уровне технологий даже можно выделить бесконтактно из видеоизображения лица испытуемого (при достаточном освещении). В основном засыпание ассоциируется с повышением вариабельности RR-интервала, хотя, как и большинство физиологических показателей, он демонстрирует существенную межиндивидуальную вариабельность [Abtahi et al., 2017]. По сравнению с ЭЭГ этот показатель является менее чувствительным [Cisler, 2019].

Методики поддержания внимания

Если внимание водителя снижается из-за сонливости, вызванной недосыпанием или длительным монотонным вождением, одной из наилучших мер является остановка и 20–30 мин сна [Sagaspe et al., 2007;

Watling, Smith, Horswill, 2014]. Эта рекомендация официально поддерживается транспортными ведомствами, к примеру, в Новом Южном Уэльсе ее сформулировали как “Stop. Revive. Survive!” («Остановись. Восстановись. Выживи!»).

Для поддержания оптимального уровня бодрствования нередко используют различные пищевые продукты (в частности, кофеин) и ноотропные препараты (модафинил). Мы не станем останавливаться на них подробно, поскольку вряд ли можно рекомендовать их прием на постоянной основе всем или хотя бы большинству водителей. Интересующиеся влиянием кофеина и ноотропных препаратов на внимательность читатели могут обратиться к соответствующим разделам обзора [Al-Shargie et al., 2019]. Там же можно познакомиться с исследованиями влияния жвачки на уровень бодрствования. В данной статье мы сосредоточимся на нефармакологических методиках.

По нашему мнению, было бы нерационально рекомендовать водителям, желающим повысить свою внимательность, видеоигры или дополнительную визуальную стимуляцию, хотя отдельные работы в этом направлении также ведутся (например, периодически активируемые источники света, обрамляющие поле зрения водителя [Capalar, Olaverri-Monreal, 2017]).

Транскраниальная стимуляция (transcranial alternating/direct current stimulation, сокращенно tACS или tDCS) в экспериментальных условиях успешно повышает внимание испытуемых к широкому кругу психомоторных задач: модуляция бдительности [Annarumma et al., 2018], реакция на различные типы стимулов [Loffler et al., 2018], отслеживание потенциально опасных ситуаций на дороге [Nelson et al., 2014], но на сегодняшнем уровне развития технологий стимуляция такого рода плохо совместима с вождением, а побочные эффекты tACS и tDCS лишь изучаются.

Отдельная группа исследований связана с отвлечением водителя на не связанную с вождением задачу, которая поддерживала бы его бдительность (например, взаимодействие с сенсорным экраном [Farooq, Evreinov, Raisamo, 2019], набор текста под диктовку [Wehlack, 2020]). Мы полагаем, что вовлечение водителя в выполнение сторонней задачи может по аналогии с использованием мобильного телефона за рулем привести к повышению аварийности, поэтому не будем подробно останавливаться на этом направлении.

Далее мы рассмотрим способы сенсорной стимуляции, используемые для повышения бдительности водителей: освещение, изменение температуры, аудиостимуляцию, вибростимуляцию, запаховую стимуляция.

Коротковолновой свет

Среди пассивных методик повышения внимания и борьбы с сонливостью в первую очередь стоит отметить коротковолновой (голубой) свет (табл. 1), который, по многим данным, ухудшает сон активных пользователей компьютеров и смартфонов [Kimberly, James, 2009; West et al., 2011; Chang et al., 2014; Mortazavi et al., 2018]. По некоторым данным, с возрастом стимулирующий эффект голубого света ослабевает. Возможно, это происходит из-за помутнения хрусталика [Daneault et al., 2014].

Большинство исследователей связывает воздействие голубого света с подавлением выработки мелатонина [Lockley, Brainard, Czeisler, 2003], однако также имеются свидетельства, что цветовая температура освещения может влиять на функциональное состояние мозга непосредственно и немедленно [Vandewalle et al., 2007; Kiessling, Sollars, Pickard, 2014].

В большинстве работ голубой или обогащенный голубым свет оказывал положительное влияние на реакцию и уровень бодрствования водителя, причем в одном исследовании даже опережал кофеин по качеству вождения (см. табл. 1). Снижение сонливости при воздействии голубого света показано как на поведенческом и субъективном уровне, так и в спектре ЭЭГ. Тем не менее, в одной работе указан высокий процент испытуемых (17%), у которых голубая подсветка салона автомобиля при ночном вождении вызвала дискомфорт [Taillard et al., 2012]. Этот вопрос требует дополнительных исследований. С учетом этого ограничения мы полагаем, что обогащенная голубым подсветка салона автомобиля может использоваться как фоновое средство борьбы с сонливостью при вождении в ночное время суток.

Снижение температуры окружающей среды

Еще один эффективный метод борьбы с дремотным состоянием — понижение температуры окружающей среды. Многие водители, сталкиваясь с сонливостью за рулем, включают кондиционер на охлаждение или открывают окно. Это связано не только с притоком свежего воздуха, но и с бодрящим воздействием прохлады. Основные исследования этого способа стимуляции приведены в табл. 2.

К сожалению, исследований прохладного воздуха как средства борьбы с монотонией не слишком много. В одной работе к тому же отмечается непродолжительный эффект такого воздействия (порядка нескольких минут) [Schmidt et al., 2017]. Для проверки эффективности и границ применимости методики требуется больше исследований. Однако, поскольку почти все современные автомобили оборудованы кондиционерами, информированные водители уже могут пользоваться этим средством самостоятельно.

Таблица 1

Влияние коротковолнового (синего) света на уровень бдительности [Influence of shortwave (blue) light on the level of alertness]

Источник [The source]	Число испытуемых [Number of subjects]	Освещение [The light]	Эффект [Effect]	Тип задачи [Task type]
Cajochen et al., 2005	10	Синий (460 нм) и зеленый (550 нм) свет	Синий свет снижал субъективную сонливость, повышал частоту сердечных сокращений (ЧСС) и температуру тела	Опросник сонливости, физиологические измерения
Vandewalle et al., 2007	18	Синий (470 нм) и зеленый (550 нм) свет	Синий свет повышал качество выполнения задания	Слуховое внимание, сравнение стимулов
Viola et al., 2008	104	Обогащенный голубым белый свет (17 000 К), сравнение с белым светом (4000 К)	Обогащенный голубым свет улучшал настроение, уровень бдительности, снижал дневную сонливость и вечернюю усталость	Дневная офисная работа
Chellappa et al., 2011	16	Сравнение голубого света (вечернее освещение, 2 часа) с желтым и белым	Улучшение времени реакции в задачах, требующих внимания, коррелирующее с подавлением выработки мелатонина	Тесты на реакцию, требующие различения стимулов
Taillard et al., 2012	48	Свет с длиной волны 468 нм (сравнение с приемом кофеина и плацебо)	Голубой свет улучшал качество вождения, но в меньшей степени, чем кофеин; 17% испытуемых сочли его дискомфортным	Ночное управление автомобилем (4 ч., 400 км)

ISSN 2500-2961

Окончание табл. 1

Источник [The source]	**Число испытуемых [Number of subjects]**	**Освещение [The light]**	**Эффект [Effect]**	**Тип задачи [Task type]**
Beaven, Ekström, 2013	21	Синий свет, сравнение с кофеином	Кофеин и синий свет улучшали время реакции; кофеин негативно влиял на точность выполнения теста	Реакция на визуальные стимулы (парадигма Go / No go)
Purawijaya, Fitri, Suprijanto, 2015	4	Синий свет, сравнение с темнотой	Разнонаправленные изменения бета-ритма ЭЭГ у разных испытуемых при воздействии синего света	Симулятор вождения автомобиля, ночная сессия
Baek, Min, 2015	20	Темнота, два вида синего света, белый свет	Синий свет улучшает выполнение задачи и снижает представленность альфа-ритма в ЭЭГ	Реакция на числовые стимулы с их различением
Fitri et al., 2018	7	Синий свет (длина волны не указана), сравнение с темнотой	Увеличение бета-активности в ЭЭГ после воздействия голубого света	Симулятор вождения автомобиля, ночная сессия
Domagalik et al., 2020	48	Ограничение голубого света (желтые контактные линзы), 4 недели	Снижение внимательности и производительности труда в группе с желтыми контактными линзами	Тесты на внимание и пространственную память
Faraut et al., 2020	17	Синий свет (длина волны не указана), вечерняя экспозиция, 30 мин	Кортизол, тестостерон, альфа-амилаза, оценка стресса показывают лучшее состояние после депривации сна в сравнении с контрольной группой	Кортизол, тестостерон, альфа-амилаза после депривации сна, задачи на внимательность
Zhang et al., 2020	8	Свет различной цветовой температуры	Наилучшее воздействие оказывал свет температуры 4000 K (нейтральный белый)	Компьютерная обучающая сессия с последующим тестированием (45 мин), регистрация ЭЭГ

Таблица 2

Влияние прохладного воздуха на уровень бдительности
[Influence of cool air on the level of alertness]

Источник [The source]	Число испытуемых [Number of subjects]	Температура / длительность воздействия [Temperature / duration]	Эффект [Effect]	Тип задачи [Task type]
Reyner, Horne, 1998	16	10 °C / 120 мин	Не обнаружено статистически значимых изменений	Симулятор вождения автомобиля
Landström et al., 1999	20	На 10 °C меньше температуры окружающей среды (25–30 °C) / 2 и 4 мин; периодические нагрев и охлаждение воздуха в зависимости от альфа-ритма	Значительное снижение сонливости по опроснику и мощности альфа-ритма в периоды охлаждения, но не у всех испытуемых	Симулятор вождения автомобиля
Landström et al., 2002	6 водителей, 54 поездки	На 8 °C меньше температуры окружающей среды / 2–8 мин	3 из 6 испытуемых остались довольны работой системы	Вождение автомобиля
Van Veen, 2016	32	5 °C / 4 мин (руки)	83% сочли систему охлаждения рук эффективной в борьбе с усталостью; статистически значимое увеличение ЧСС	Симулятор вождения автомобиля
Schmidt et al., 2017	34	17 °C / 6 мин	Значимое снижение субъективной сонливости, числа морганий, увеличение диаметра зрачка; оптимальная продолжительность стимула – 3 мин; непродолжительный эффект стимуляции	Симулятор вождения автомобиля
Schmidt, Bullinger, 2017	33	15 °C / 2 и 4 мин	Усиление активности симпатической нервной системы (зрачок, ЧСС); лучшее самочувствие по опроснику приблизительно на 6 мин после стимуляции	Симулятор вождения автомобиля

Запаховая стимуляция

О том, что запахи могут влиять на настроение человека, говорили еще с древних времен, однако современные технологии позволяют проверить не только время реакции и качество выполнения задания, но и отследить изменения активности мозга в нейтральном окружении и при воздействии ароматического вещества. Природа этого явления еще не до конца изучена.

Исследования влияния запаховой стимуляции на внимание суммированы в табл. 3. В некоторых работах воздействие эфирного масла сравнивается влиянием небольшого вознаграждения, из чего делается вывод, что реакция связана с позитивным стимулом [Baron, Thomley, 1994]. В других работах показано, что воздействия и приятного, и неприятного запаха приводят к улучшению качества операторской работы [Millot, Brand, Morand, 2002]. Однако приятные испытуемым запахи лаванды и иланг-иланга, которые используются в ароматерапии для расслабления, в ряде исследований ухудшали качество работы испытуемых, в отличие от общепризнанно бодрящего запаха мяты перечной.

В основном повышению бдительности способствует мятное масло (табл. 3). Несколько исследований отмечают подобный эффект у эфирного масла розмарина. Относительно лаванды и жасмина получены противоречивые результаты, но в большинстве исследований по ароматерапии отмечено успокаивающее действие эфирного масла лаванды. Наиболее перспективным для повышения уровня бодрствования представляется масло мяты перечной. Скорее всего, при длительном выполнении задачи возникает привыкание к фоновому запаху. Мы предполагаем, что адаптивная модель подачи запахового стимула может улучшить полученные авторами перечисленных статей эффекты. Соответствующие технические решения уже создаются [Dmitrenko, Vi, Obrist, 2016]. Как показано в исследовании [Yoshida, 2011], предъявление эфирного масла мяты при выполнении монотонной задачи повышало уровень бодрствования испытуемого приблизительно на 10 мин.

Отметим, что в ряде упомянутых исследований время, отведенное на задачу, составляло менее часа. Скорее всего, это связано с высокой психоэмоциональной сложностью полутора-двухчасовых экспериментов по монотонной деятельности для испытуемых. В то же время состояние монотонии развивается у выспавшегося человека приблизительно через 30–40 мин после начала выполнения задания (в зависимости от сложности и монотонности), а значит, при увеличении длительности эксперимента можно ожидать более четких результатов.

Таблица 3

Влияние запаховой стимуляции на уровень бдительности [Influence of odor stimulation on the level of alertness]

Источник [The source]	Число испытуемых [Number of subjects]	Запах [The odor]	Эффект [Effect]	Тип задачи [Task type]
Baron, Kalsher, 1998	80	Лимон	Улучшение качества выполнения задания	Управление движущимися объектами на экране
Sullivan et al., 1998	40 (20 после инсульта)	Мята	Улучшение внимательности у обеих групп	Отслеживание значимых паттернов среди нейтральных на мониторе
Ilmberger, 2001	100	Мята, жасмин, иланг-иланг, эвкалипт, ментол	Различия не значимы статистически	Реакция на значимые стимулы
Millot, Brand, Morand, 2002	33	Лаванда, пиридин	И приятный, и неприятный запах снижают время реакции	Время реакции на визуальные и слуховые стимулы
Barker et al., 2003	26	Мята	Улучшение скорости печати и чтения	Память; алфавитный порядок слов; чтение незначащих последовательностей букв; скорость печати
Sakamoto et al., 2005	36	Лаванда, жасмин	Лаванда: улучшение концентрации; жасмин: без изменений	Реакция на изменения размера движущейся цели
Moss et al., 2008	144	Мята, иланг-иланг	Мята: повышение бдительности; иланг-иланг: снижение бдительности, успокаивающий эффект	Drug Research Computerized Assessment System (память, время реакции, распознавание изображений)
Shimizu et al., 2008	15	Лаванда, эвкалипт	Лаванда: препятствует развитию усталости; эвкалипт: без изменений	Время реакции на значимый стимул среди незначащих

ISSN 2500-2961

Окончание табл. 3

Источник [The source]	**Число испытуемых [Number of subjects]**	**Запах [The odor]**	**Эффект [Effect]**	**Тип задачи [Task type]**
Heuberger, Ilmberger, 2010	240	Мята, жасмин, линалилацетат (компонент лаванды)	Мята, жасмин: без изменений; линалилацетат: уменьшение времени реакции	Отслеживание меняющихся паттернов, реакция на них
Matsubara et al., 2011	9	Лавр	Улучшение бдительности	Реакция на значимые стимулы среди незначащих (цифры)
Manuel et al., 2014	45	Мята, лаванда	Мята: возрастание бдительности; лаванда: снижение бдительности	Запоминание 20 названий брендов
Mahachandra, Yassierli, Garnaby, 2015	12	Мята	ЭЭГ-показатели: тенденция к более высокому уровню внимания (ниже статистической значимости)	Симулятор вождения автомобиля
Babulka et al., 2017	128	Розмарин, лаванда	Отсутствие изменений	Реакция на стимулы на мониторе (14 мин)
Moss et al., 2018	40 (дети 9–11 лет)	Розмарин	Улучшение памяти	Запоминание чисел и слов
Dmitrenko, 2019	21	Лаванда	Улучшение выполнения задач (сброс скорости, нахождение в центре полосы)	Симулятор вождения автомобиля
Hoult et al., 2019	100	Мята	Улучшение выполнения заданий	Вербальные аспекты кратковременной памяти
Lwin, Malik, Neo, 2020	73	Мята	Противодействие усталости; периодическая стимуляция лучше постоянной	Время реакции; отслеживание подозрительных стимулов

Аудиостимуляция

Нам не удалось найти работы, где уровень бодрствования поддерживался бы периодической подачей неожиданных аудиостимулов, хотя вибростимуляция успешно используется в таких парадигмах. В исследованиях связи аудиостимуляции с внимательностью исследователи обычно останавливаются на музыке или набирающих популярность в последние годы бинауральных биениях. Поскольку таких работ не очень много, перечислим их в одной табл. 4. Упомянем отдельно еще одно исследование, в котором рассматривается возможность подачи сигнала водителю изменением громкости радио [Fagerlönn, Lindberg, Sirkka, 2012].

Из-за большой популярности музыки среди водителей среди них, скорее всего, не получат распространения бинауральные биения, для которых к тому же потребуются наушники. Однако музыка плохо подходит для интерактивных дизайнов вождения: водители, скорее всего, захотят самостоятельно выбирать как жанры и конкретных исполнителей, так и моменты ее включения и выключения. Также сложно предсказать результаты наложения адаптивной аудиостимуляции на выбранное водителем для поездки звуковое окружение.

Вибростимуляция

Виброакустическая стимуляция исходно использовалась для улучшения качества жизни страдающих глухотой людей. Однако уже более двадцати лет она рассматривается как перспективный способ подачи сигналов, не отвлекающих от дороги, водителям и другим людям, занятым операторской деятельностью. С наработками в этой области можно подробно ознакомиться в обзорах [Prewett et al., 2012; Yusof, 2020]. Помимо сиденья автомобиля, сигнал может подаваться на пульт либо вибрирующий браслет [Ma et al., 2019]. Упомянем несколько типичных исследований, связанных с монотонией, в табл. 5.

Обобщая результаты упомянутых обзоров, можно сказать, что вибросигналы, как минимум, не менее эффективны, чем визуальные и аудиальные стимулы. Однако в ситуации вождения у них есть важное преимущество – воздействие на практически не задействованный канал восприятия, в отличие от визуального и слухового (фоновый шум автомобиля и зачастую музыка в салоне).

В нескольких исследованиях сравнивалось воздействие мультимодальных и унимодальных сигналов. Большинство авторов приходят к выводу, что мультимодальные сигналы более эффективны, чем

ISSN 2500-2961

Таблица 4

Влияние аудиостимуляции на уровень бдительности
[Influence of audio stimulation on the level of alertness]

Источник [The source]	Число испытуемых [Number of subjects]	Тип стимуляции [Stimulation type]	Эффект [Effect]	Тип задачи [Task type]
Lane et al., 1998	29	Бинауральные биения дельта- и бета-диапазонов	Биения в бета-диапазоне улучшали настроение и снижали число ошибок	Время реакции на повторяющиеся стимулы
Dibben, Williamson, 2007	1780	Музыка	Обнаружены связи между предпочитаемыми водителями жанрами и аварийностью	Массовый опрос водителей
Wolfe, Noguchi, 2009	76	Музыка	Музыка уменьшала количество ошибок	Восприятие на слух историй с отвлекающими стимулами
Ünal et al., 2013	47	Музыка высокой и умеренной громкости	Положительно сказывается на качестве вождения; эффект не зависит от громкости	Следование за автомобилем в симуляторе вождения
Solcà, Mottaz, Guggisberg, 2016	9	Бинауральные биения (10 Гц)	Положительно сказывается на альфа-синхронизации, не оказывает значимого влияния на выполнение задачи	Различение аудиальных стимулов
Lim et al., 2018	25	Бинауральные биения, вибромассаж	Улучшение выполнения большинства тестов; снижение ЭЭГ-индексов умственной усталости	Когнитивные тесты (5 типов)
Garcia-Argibay, Santed, Reales, 2019	32	Бинауральные биения (5 и 20 Гц)	Возможно разнонаправленное влияние на память в зависимости от частоты	Запоминание слов

Таблица 5

Влияние вибростимуляции на уровень бдительности
[Influence of vibration stimulation on the level of alertness]

Источник [The source]	Число испытуемых [Number of subjects]	Тип стимуляции [Stimulation type]	Эффект [Effect]	Тип задачи [Task type]
Calhoun et al., 2004	18	Аудиальные и тактильные сигналы	Оба вида сигналов одинаковы по эффективности, тактильные могут быть предпочтительны в шумном окружении	Удаленное управление беспилотным аппаратом с дополнительными отвлекающими задачами
Krausman, Elliott, Pettit, 2005	12	Тактильные и визуальные предупреждения	Время реакции на тактильные стимулы существенно меньше, чем на визуальные	Имитация управления автомобилем на военных учениях
Scott, Gray, 2008	16	Тактильные, аудиальные и визуальные предупреждения	Наименьшее время реакции на тактильную стимуляцию	Симулятор вождения автомобиля, реакция на предупреждения
Arrabito et al., 2011	98	Вибростимуляция различных частот и паттернов (жилет с восемью независимыми стимуляторами)	Реакция на паттерны значимо не различалась; вибростимуляция улучшала выполнение задания по сравнению с контрольной группой	Выделение коротких сигналов из белого шума
Kalisch et al., 2012	78	Время реакции на тактильные стимулы в зависимости от возраста	Значительное повышение времени реакции с увеличением возраста	Матрицы Рейвена
Telpaz et al., 2015	26	Вибросигнал о передаче управления водителю	Улучшение качества вождения	Симулятор частично автоматизированного вождения автомобиля
Zhang et al., 2016	20	Синусоидальная вибростимуляция частоты 15 Гц	Улучшение внимательности при стимуляции	Реакция на графические стимулы, парадигма Go / No go
Biondi et al., 2017	18	Тактильные, аудиальные, визуальные и мультимодальные предупреждения	Мультимодальные сигналы эффективнее при низкой ментальной нагрузке, при высокой эффект сглаживается	Реакция на числовые стимулы на экране

унимодальные, однако в работе [Calhoun et al., 2004] этот эффект сглаживался при повышении когнитивных требований к задаче. Поскольку число испытуемых в упомянутых работах обычно составляет около 20–30 человек, а дизайны исследований существенно отличаются, мы полагаем, что различия мультимодальных и унимодальных сигналов пока исследованы недостаточно.

Заключение

В большинстве рассмотренных исследований время эксперимента было недостаточно для развития уровня монотонии, свойственной продолжительному вождению. Возможно, при удлинении опыта эффекты методик проявились бы ярче. Основываясь на собственном опыте работы с симуляторами вождения и изученных работах по монотонии, мы полагаем, что такой эксперимент должен длиться не менее часа, лучше – от полутора до двух часов, хотя это существенно повышает сложность эксперимента для испытуемых.

Прием кофеина, ноотропных препаратов и использование жвачки по понятным причинам остается делом личных предпочтений водителей, хотя все три способа повышения бдительности подробно изучались и показали некоторую эффективность. Лучшим средством борьбы с выраженной сонливостью, однако, остается прерывание вождения на кратковременный сон.

Согласно данным нашего обзора, для борьбы с фоновой сонливостью, особенно в ночное время суток, может успешно использоваться коротковолновая (голубая) или обогащенная голубым цветом подсветка салона автомобиля.

Снижение температуры окружающей среды как способ борьбы с сонливостью пока недостаточно исследовано, но может рекомендоваться водителям как безопасный способ для самостоятельного применения, поскольку современные автомобили, как правило, оснащены системами климат-контроля.

Что касается систем, отслеживающих состояние водителя в реальном времени: чтобы сигнал оповещения о сниженном уровне бодрствования оставался значимым для водителя, он должен подаваться нечасто и только в необходимые моменты, иначе произойдет габитуация и водитель перестанет реагировать на стимул как на значимый. Для оптимизации состояния водителя очень важна система его распознавания в реальном времени. На современном уровне технологий эта задача может решаться бесконтактно – путем отслеживания наклона головы, степени закрытия глаз и частоты морганий испытуемого. Для создания

более чувствительных систем контроля состояния можно использовать показатели ЭЭГ.

Мы полагаем, что из рассмотренных агентов для запаховой стимуляции наиболее перспективно использование масла мяты перечной (либо его основной составляющей – ментола). Лаванда и иланг-иланг, наоборот, оказывают расслабляющее воздействие, что приводит к ухудшению качества длительной монотонной работы и увеличению времени реакции на значимые стимулы. Эфирное масло жасмина не оказывает значимого влияния на испытуемых. Для изучения воздействия эфирных масел розмарина и лавра требуются дополнительные исследования.

Аудиостимуляция испытуемых в условиях реального вождения, на первый взгляд, кажется перспективной, но, скорее всего, будет затруднена, поскольку многие водители любят слушать музыку за рулем, и слышимость пробуждающего стимула на ее фоне невозможно предугадать. Сама музыка влияет на водителей скорее положительно, чем отрицательно, однако ее действие сильно зависит от взаимодействия темперамента и функционального состояния водителя и жанра музыки.

Вибростимуляция в рассмотренных работах показала свою эффективность и может быть рекомендована к применению в частично автоматизированных автомобилях.

Библиографический список / Referense

Дементиенко В.В., Дорохов В.Б. Оценка эффективности систем контроля уровня бодрствования человека-оператора с учетом вероятностной природы возникновения ошибок при засыпании // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2013. Т. 63. № 1. С. 24–32. [Dementienko V.V., Dorokhov V.B. Estimation of control operator's alertness level by reference to random nature of errors during falling asleep. *I.P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity*. 2013. Vol. 63. No. 1. Pp. 24–32. (In Rus.)]

Дорохов В.Б. Анализ психофизиологических механизмов нарушения деятельности при дремотных изменениях сознания // Вестник Российского гуманитарного научного фонда. 2003. № 4. С. 137–144. [Dorokhov V.B. Analysis of psychophysiological mechanisms of operator's faults during drowsiness. *Vestnik Rossiyskogo gumanitarnogo nauchnogo fonda*. 2003. No. 4. Pp. 137–144. (In Rus.)]

Дорохов В.Б. Механизмы возникновения ошибок в деятельности при засыпании: Дис. … д-ра биол. наук. М., 2006. [Dorokhov V.B. Mechanisms of operator's errors during falling asleep. Dr. Hab. Dis. Moscow, 2006.]

Микросон: анализ особенностей изменений ЭЭГ при психомоторных нарушениях / Ткаченко О.Н., Лаврова Т.П., Дорохов В.Б. и др. // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2013. Т. 63. № 1. С. 141–153. [Tkachenko O.N., Lavrova T.P., Dorokhov V.B. et al. Microsleep: Analysis of EEG changes during psychomotor errors. *I.P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity*. 2013. Vol. 63. No. 1. Pp. 141–151. (In Rus.)]

Прогнозирование моментов критического снижения уровня бодрствования по показателям зрительно-моторной координации / Арсеньев Г.Н., Ткаченко О.Н., Украинцева Ю.В., Дорохов В.Б. // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2014. Т. 64. № 1. С. 64–76. [Arsenyev G.N., Tkachenko O.N., Ukraintseva J.V., Dorokhov V.B. Prediction of critical alertness decrease using eye-motor coordination indices. *I.P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity*. 2014. Vol. 64. No. 1. Pp. 64–76. (In Rus.)]

Соколов Е.Н. Восприятие и условный рефлекс. М., 1958. [Sokolov E.N. Vospriyatie i uslovnyy refleks [Perception and behaviour reflex]. Moscow, 1958.]

Телемеханическая система контроля бодрствования машиниста / Бугаев А.С., Герус С.В., Дементиенко В.В. и др. // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». 2017. № 2. С. 21–41. [Bugayev A.S., Gerus S.V., Dementienko V.V. et al. Telemechanical system of locomotive drivers' alertness monitoring. *Organization of the JSC Bulletin*. 2017. Vol. 2. Pp. 21–41. (In Rus.)]

Ткаченко О.Н. Физиологические показатели дремотного состояния при выполнении монотонной операторской деятельности: Дис. … канд. биол. наук. М., 2012. [Tkachenko O.N. Physiological indices of drowsiness during monotonous operator activity. PhD Dis. Moscow, 2012.]

Ткаченко О.Н., Дорохов В.Б., Свешников Д.С. Физиологические корреляты дремотного состояния при выполнении монотонной операторской деятельности // Вестник МГГУ им. М.А. Шолохова. Серия «Педагогика и психология». 2015. № 2. С. 84–92. [Tkachenko O.N., Dorokhov V.B., Sveshnikov D.S. Physiological correlates of drowsiness during monotonous operator activity. *Pedagogy and Psychology of Education.* 2015. No. 2. Pp. 84–92. (In Rus.)]

Abtahi F., Anund A., Fors C. et al. Association of drivers' sleepiness with heart rate variability: A pilot study with drivers on real roads. *IFMBE Proceedings*. 2017. Pp. 149–152.

Al-Shargie F., Tariq U., Mir H. et al. Vigilance decrement and enhancement techniques: A review. *Brain Sciences*. 2019. Vol. 9. No. 8. P. 178.

Annarumma L., D'Atri A., Alfonsi V., De Gennaro L. The efficacy of transcranial current stimulation techniques to modulate rsting-state EEG, to affect vigilance and to promote sleepiness. *Brain Sciences.* 2018. Vol. 8. No. 7. P. 137.

Arrabito G.R., Ho G., Aghaei B. et al. Effects of vibrotactile stimulation for sustaining performance in a vigilance task: A pilot study. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. 2011. Vol. 55 (1). Pp. 1160–1164.

Ayeni A., Beghal G.S., Pengo M.F. et al. Self-reported sleepiness in the context of fitness-to-drive. *Sleep and Breathing.* 2019. No. 23. Pp. 1227–1232.

Babulka P., Berkes T., Szemerszky R., Köteles F. No effects of rosemary and lavender essential oil and a placebo pill on sustained attention, alertness, and heart rate. *Flavour and Fragrance Journal*. 2017. Vol. 32. No. 4. Pp. 305–311.

Baek H., Min B.-K. Blue light aids in coping with the post-lunch dip: An EEG study. *Ergonomics*. 2015. Vol. 58. No. 5. Pp. 803–810.

Barker S., Grayhem P., Koon J. et al. Improved performance on clerical tasks associated with administration of peppermint odor. *Perceptual and Motor Skills*. 2003. Vol. 97. No. 3. Pp. 1007–1010.

Baron R.A., Kalsher M.J. Effects of a pleasant ambient fragrance on simulated driving performance. *Environment and Behavior*. 1998. Vol. 30. No. 4. Pp. 535–552.

Baron R.A., Thomley J. A whiff of reality. *Environment and Behavior*. 1994. Vol. 26. No. 6. Pp. 766–784.

Beaven C. M., Ekström J. A comparison of blue light and caffeine effects on cognitive function and alertness in humans. *PLoS ONE*. 2013. Vol. 8. No. 10. P. e76707.

Biondi F., Leo M., Gastaldi M. et al. How to drive drivers nuts. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2017. Vol. 2663. Pp. 34–39.

Cajochen C., Münch M., Kobialka S. et al. High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light. *The Journal of Clinical Endocrinology*, *Metabolism*. 2005. Vol. 90. No. 3. Pp. 1311–1316.

Calhoun G.L., Fontejon J.V., Draper M.H. et al. Tactile versus aural redundant alert cues for UAV control applications. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. 2004. Vol. 48. No. 1. Pp. 137–141.

Capalar J., Olaverri-Monreal C. Hypovigilance in limited self-driving automation: Peripheral visual stimulus for a balanced level of automation and cognitive workload. *IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. 2017. DOI: 10.1109/ITSC.2017.8317925

Chang A.-M., Aeschbach D., Duffy J.F., Czeisler C.A. Evening use of light-emitting eReaders negatively affects sleep, circadian timing, and next-morning alertness. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2014. Vol. 112. No. 4. Pp. 1232–1237.

Chellappa S.L., Steiner R., Blattner P. et al. Non-visual effects of light on melatonin, alertness and cognitive performance: Can blue-enriched light keep us alert? *PLoS ONE*. 2011. Vol. 6. No. 1. P. e16429.

Cisler D., Greenwood P.M., Roberts D.M. et al. Comparing the relative strengths of EEG and low-cost physiological devices in modeling attention allocation in semiautonomous vehicles. *Frontiers in Human Neuroscience.* 2019. Vol. 13.

Collet C., Musicant O. Associating vehicles automation with drivers functional state assessment systems: A challenge for road safety in the future. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2019. Vol. 13.

Daneault V., Hébert M., Albouy G. et al. Aging reduces the stimulating effect of blue light on cognitive brain functions. *Sleep*. 2014. Vol. 37. No. 1. Pp. 85–96.

Dibben N., Williamson V.J. An exploratory survey of in-vehicle music listening. *Psychology of Music*. 2007. Vol. 35. No. 4. Pp. 571–589.

Dmitrenko D., Maggioni E., Obrist M. Towards a framework for validating the matching between notifications and scents in olfactory in-car interaction. *Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems.* 2019. DOI: 10.1145/3290607.3313001

Dmitrenko D., Vi C.T., Obrist M. A comparison of scent-delivery devices and their meaningful use for in-car olfactory interaction. *Proceedings of the 8th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications.* 2016. DOI: 10.1145/3003715.3005464

Domagalik A., Oginska H., Beldzik E. et al. Long-term reduction of short-wavelength light affects sustained attention and visuospatial working memory with no evidence for a change in circadian rhythmicity. *Front Neurosci*. 2020. Vol. 3. No. 14. P. 654.

Dorokhov V.B., Arsenyev G.N., Tkachenko O.N. et al. A psychomotor test for assessment of visuomotor coordination during performance of a monotonous target-tracking ativity. *Neuroscience and Behavioral Physiology.* 2013. Vol. 43. No. 1.

Fagerlönn J., Lindberg S., Sirkka A. Graded auditory warnings during in-vehicle use. *Proceedings of the 4th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications.* 2012. Pp. 85–91. DOI: 10.1145/2390256.2390269

Faraut B., Andrillon T., Drogou C. et al. Daytime exposure to blue-enriched light counters the effects of sleep restriction on cortisol, testosterone, alpha-amylase and executive processes. *Frontiers in Neuroscience*. 2020. Vol. 13. DOI: 10.3389/fnins.2019.01366

Farooq A., Evreinov G., Raisamo R. Reducing driver distraction by improving secondary task performance through multimodal touchscreen interaction. *SN Applied Sciences*. 2019. Vol. 1. No. 8.

Fitri L.L., Chusnia C., Suprijanto. Blue light exposure and visual distraction effect of the cognition brain waves of driver in car simulator at night. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 197*. 2018. DOI: 10.1088/1755-1315/197/1/012051

Funato H., Yoshikawa M., Kawasumi M. et al. Stimulation effects provided to drivers by fragrance presentation considering olfactory adaptation. *2009 IEEE Intelligent Vehicles Symposium.* 2009. DOI: 10.1109/IVS.2009.5164396

Garcia-Argibay M., Santed M.A., Reales J.M. Binaural auditory beats affect long-term memory. *Psychological Research*. 2019. No. 83. Pp. 1124–1136. DOI: 10.1007/s00426-017-0959-2

Gray J. A. Elements of a two-process theory of learning. London, 1975.

Hecht T., Feldhütter A., Radlmayr J. et al. A review of driver state monitoring systems in the context of automated driving. *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)*. 2018. Pp. 398–408.

Hendricks D.L., Freedman M., Page J.F. et al. The relative frequency of unsafe driving in serious traffic crashes. Summary Technical Report. 2001. URL: https://one.nhtsa.gov/people/injury/research/udashortrpt/documentation_page.html (date of access: 09.04.2020).

Heuberger E., Ilmberger J. The influence of essential oils on human vigilance. *Natural Product Communications*. 2010. Vol. 5. No. 9. DOI: 10.1177/1934578X1000500919.

Hogema J.H., De Vries S.C., Van Erp J.B.F., Kiefer R.J. A tactile seat for direction coding in car driving: Field evaluation. *EEE Trans. Haptics*. 2009. Vol. 2. No. 4. Pp. 181–188.

Hoult L., Longstaff L., Moss M. Prolonged low-level exposure to the aroma of peppermint essential oil enhances aspects of cognition and mood in healthy adults. *American Journal of Plant Sciences*. 2019. Vol. 10. Pp. 1002–1012.

Ilmberger J. The influence of essential oils on human attention. I: Alertness. *Chemical Senses*. 2001. Vol. 26. No. 3. Pp. 239–245.

Kalisch T., Kattenstroth J.-C., Kowalewski R. et al. Cognitive and tactile factors affecting human haptic performance in later life. *PLoS ONE*. 2012. Vol. 7. No. 1. DOI: 10.1371/journal.pone.0030420

Kiessling S., Sollars P.J., Pickard G.E. Light stimulates the mouse adrenal through a retinohypothalamic pathway independent of an effect on the clock in the suprachiasmatic nucleus. *PLoS One*. 2014. Vol. 9. DOI: 10.1371/journal.pone.0092959

Kimberly B., James R.P. Amber lenses to block blue light and improve sleep: A randomized trial. *Chronobiology International.* 2009. Vol. 26. No. 8. Pp. 1602–1612.

Körber M., Cingel A., Zimmermann M., Bengler K. Vigilance decrement and passive fatigue caused by monotony in automated driving. *Procedia Manufacturing*. 2015. Vol. 3. Pp. 2403–2409.

Krausman A., Elliott L.R., Pettit R. Effects of visual, auditory, and tactile alerts on platoon leader performance and decision-making. *Army Res. Lab.* 2005. Rep. ARL-TR-3999. URL: https://www.researchgate.net/publication/235171997_Effects_of_Visual_Auditory_and_Tactile_Alerts_on_Platoon_Leader_Performance_and_Decision_Making (date of access: 09/04/2020)

Kundinger T., Riener A., Sofra N., Klemens W. Drowsiness detection and warning in manual and automated driving: Results from subjective evaluation. *Proceedings of the 10th International ACM Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*. 2018. September. Pp. 229–236. DOI: 10.1145/3239060.3239073

Kyriakidis M., Happee R., de Winter J.C.F. Public opinion on automated driving: Results of an international questionnaire among 5000 respondents. *Transportation Research. Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 2015. Vol. 32. Pp. 127–140.

Landström U., Englund K., Nordstrom B., Stenudd A. Laboratory studies on the effects of temperature variations on drowsiness. *Perceptual and Motor Skills*. 1999. Vol. 89. 3 suppl. Pp. 1217–1229.

Landström U., Englund K., Nordstrom B., Stenudd A. Use of temperature variations to combat drivers' drowsiness. *Percept. Mot. Skills*. 2002. Vol. 95. No. 2. Pp. 497–506.

Lane J.D., Kasian S.J., Owens J.E., Marsh G.R. Binaural auditory beats affect vigilance performance and mood. *Physiology*, *Behavior*. 1998. Vol. 63. No. 2. Pp. 249–252.

Lim J.-H., Kim H., Jeon C., Cho S. The effects on mental fatigue and the cognitive function of mechanical massage and binaural beats (brain massage) provided by massage chairs. *Complementary Therapies in Clinical Practice*. 2018. Vol. 32. Pp. 32–38.

Lockley S.W., Brainard G.C., Czeisler C.A. High sensitivity of the human circadian melatonin rhythm to resetting by short wavelength light. *The Journal of Clinical Endocrinology*, *Metabolism*. 2003. Vol. 88. No. 9. Pp. 4502–4502.

Loffler B.S., Stecher H.I., Fudickar S. et al. Counteracting the slowdown of reaction times in a vigilance experiment with 40 Hz transcranial alternating current stimulation. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. 2018. No. 26 (10). Pp. 2053-2061. DOI: 10.1109/TNSRE.2018.2869471

Lwin M.O., Malik S., Neo J.R.J. Effects of scent and scent emission methods: Implications on workers' alertness, vigilance, and memory under fatigue conditions. *Environment and Behavior.* 2020. DOI: 10.1177/0013916520940804

Ma Z., Liu Y., Ye D., Zhao L. Vibrotactile wristband for warning and cuiding in automated vehicles. *Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems.* 2019. May. Paper No. LBW2220. Pages 1–6. DOI: 10.1145/3290607.3312819

Mahachandra M., Yassierli, Garnaby E.D. The effectiveness of in-vehicle peppermint fragrance to maintain car driver's alertness. *Procedia Manufacturing*. 2015. Vol. 4. Pp. 471–477. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.11.064

Manuel S.J., Syazwan M., Han C.W. et al. Peppermint and lavender essential oils: Are they therapeutic aromas for attention and memory? *The Internet Journal of Alternative Medicine*. 2014. Vol. 9. № 1.

Matsubara E., Fukagawa M., Okamoto T. et al. Volatiles emitted from the leaves of *Laurus nobilis* L. improve vigilance performance in visual discrimination task. *Biomedical Research*. 2011. Vol. 32. No. 1. Pp. 19–28.

Millot J.-L., Brand G., Morand N. Effects of ambient odors on reaction time in humans. *Neuroscience Letters*. 2002. Vol. 322. No. 2. Pp. 79–82.

Minguillon J., Lopez-Gordo M.A., Pelayo F. Trends in EEG-BCI for daily-life: Requirements for artifact removal. *Biomed. Signal Process. Control*. 2017. Vol. 31. Pp. 407–418.

Moller H.J., Kayumov L., Bulmash E.L. et al. Simulator performance, microsleep episodes, and subjective sleepiness: Normative data using convergent methodologies to assess driver drowsiness. *Journal of Psychosomatic Research.* 2006. Vol. 61. Pp. 335–342.

Mortazavi S.A.R., Parhoodeh S., Hosseini M.A. et al. Blocking short-wavelength component of the visible light emitted by smartphones' screens improves human sleep quality. *J. Biomed. Phys. Eng.* 2018. Vol. 8. No. 4. Pp. 375–380.

Moss M., Earl V., Moss L., Heffernan T. Any sense in classroom scents? Aroma of rosemary essential oil significantly improves cognition in young school children. *Advances in Chemical Engineering and Science.* 2017. Vol. 7. No. 4.

Moss M., Pewitt S., Moss L., Wesnes K. Modulation of cognitive performance and mood by aromas of peppermint and ylang-ylang. *International Journal of Neuroscience*. 2008. Vol. 118. No. 1. Pp. 59–77.

Nelson J.T., McKinley R.A., Golob E.J. et al. Enhancing vigilance in operators with prefrontal cortex transcranial direct current stimulation (tDCS). *Neuroimage.* 2015. Vol. 85 No. 3. Pp. 909–917.

Oken B.S., Salinsky M.C., Elsas S.M. Vigilance, alertness, or sustained attention: Physiological basis and measurement. *Clinical Neurophysiology*. 2006. Vol. 117. No. 9. Pp. 1885–1901.

Otte D., Pund B., Jänsch M. A new approach of accident causation analysis by seven steps ACASS. *Proceedings of the International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles*. Stuttgart, 2009.

Parasuraman R. The attentive brain. Cambridge, MA, 1998.

Prewett M.S., Elliott L.R., Walvoord A.G., Coovert M.D. A meta-analysis of vibrotactile and visual information displays for improving task performance. *IEEE Transactions on Systems*, *Man*, *and Cybernetics. Part C (Applications and Reviews)*. 2012. Vol. 42. No. 1. Pp. 123–132.

Purawijaya D.A., Fitri L.L., Suprijanto. Evaluation of blue light exposure to beta brainwaves on simulated night driving. *AIP Conference Proceedings*. 2015. Vol. 1677. Issue 1. DOI: 10.1063/1.4930757

Reyner L.A., Horne J.A. Evaluation of "in-car" countermeasures to sleepiness: Cold air and radio. *Sleep*. 1998. Vol. 21. No. 1. Pp. 46–50.

Sagaspe P., Taillard J., Chaumet G. et al. Aging and nocturnal driving: Better with coffee or a nap? A randomized study. *Sleep.* 2007. Vol. 30. No. 12. Pp. 1808–1813.

Sakamoto R., Minoura K., Usui A. et al. Effectiveness of aroma on work efficiency: Lavender aroma during recesses prevents deterioration of work performance. *Chemical Senses*. 2005. Vol. 30. No. 8. Pp. 683–691.

Sawyer B., Teo G., Mouloua M. Drive ID: Safety innovation through individuation. *Work.* 2012. Vol. 41 (Suppl 1). Pp. 4273–4278.

Schmidt E., Bullinger A.C. Mitigating passive fatigue during monotonous drives with thermal stimuli: Insights into the effect of different stimulation durations. *Accid Anal Prev*. 2019. May. No. 126. Pp. 115–121.

Schmidt E., Decke R., Rasshofer R., Bullinger A.C. Psychophysiological responses to short-term cooling during a simulated monotonous driving task. *Applied Ergonomics*. 2017. Vol. 62. Pp. 9–18.

Schmidt E., Schrauf M., Simon M. et al. Drivers' mis-judgement of vigilance state during prolonged monotonous daytime driving. *Accid Anal Prev.* 2009. No. 41 (5). Pp. 1087-93. DOI: 10.1016/j.aap.2009.06.007

Scott J.J., Gray R. A comparison of tactile, visual, and auditory warnings for rear-end collision prevention in simulated driving. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*. 2008. Vol. 50. No. 2. Pp. 264–275.

Shimizu K., Gyokusen M., Kitamura S. et al. Essential oil of lavender inhibited the decreased attention during a long-term task in humans. *Bioscience*, *Biotechnology*, *and Biochemistry*. 2008. Vol. 72. No. 7. Pp. 1944–1947.

Singh R.R., Conjeti S., Banerjee R. A comparative evaluation of neural network classifiers for stress level analysis of automotive drivers using physiological signals. *Biomedical Signal Processing and Control*. 2013. Vol. 8. No. 6. Pp. 740–754.

Solcà M., Mottaz A., Guggisberg A.G. Binaural beats increase interhemispheric alpha-band coherence between auditory cortices. *Hearing Research*. 2016. Vol. 332. Pp. 233–237.

Taillard J., Capelli A., Sagaspe P. et al. In-car nocturnal blue light exposure improves motorway driving: A randomized controlled trial. *PLoS ONE*. 2012. Vol. 7. No. 10. P. e46750.

Telpaz A., Rhindress B., Zelman I., Tsimhoni O. Haptic seat for automated driving. *Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications.* 2015. DOI: 10.1145/2799250.2799267

Ünal A.B., de Waard D., Epstude K., Steg L. Driving with music: Effects on arousal and performance. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 2013. Vol. 21. Pp. 52–65.

Van Veen S. Driver vitalization: Investigating sensory stimulation to achieve a positive driving experience. PhD Thesis. TU Delft. 2016.

Vandewalle G., Gais S., Schabus M. et al. Wavelength-dependent modulation of brain responses to a working memory task by daytime light exposure. *Cerebral Cortex*. 2007. Vol. 17. No. 12. Pp. 2788–2795.

Viola A.U., James L.M., Schlangen L.J.M., Dijk D.-J. Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality. *Scand J. Work Environ Health*. 2008. Vol. 34. No. 4. Pp. 297–306.

Warm J.S., Sullivan T.E., Peterson S.J. et al. Effects of olfactory stimulation on the vigilance performance of individuals with brain injury. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology (Neuropsychology*, *Development and Cognition: Section A)*. 1998. Vol. 20. No. 2. Pp. 227–236.

Watling C.N., Smith S.S., Horswill M.S. Stop and revive? The effectiveness of nap and active rest breaks for reducing driver sleepiness. *Psychophysiology*. 2014. Vol. 51. No. 11. Pp. 1131–1138.

Wehlack V. Automated driving: Development of a drowsiness management concept and evaluation of related key elements. Dr.-Ing. Dis. Technischen Universität München. 2020.

West K.E., Jablonski M.R., Warfield B. et al. Blue light from light-emitting diodes elicits a dose-dependent suppression of melatonin in humans. *Journal of Applied Physiology*. 2011. Vol. 110. No. 3. Pp. 619–626.

Wolfe D.E., Noguchi L.K. The use of music with young children to improve sustained attention during a vigilance task in the presence of auditory distractions. *Journal of Music Therapy*. 2009. Vol. 46. No. 1. Pp. 69–82.

Wright N., McGown A. Vigilance on the civil flight deck: Iincidence of sleepiness and sleep during long-haul flights and associated changes in physiological parameters. *Ergonomics.* 2001. Vol. 44. No. 1. Pp. 82–106.

Yoshida M., Kato C., Kakamu Y. et al. Study on stimulation effects for driver based on fragrance presentation. *MVA2011. IAPR Conference on Machine Vision Applications*. 2011.

Yusof N.Md., Karjanto J., Terken J.M.B. et al. Gaining situation awareness through a vibrotactile display to mitigate motion sickness in fully-automated driving cars. *International journal of automotive and mechanical engineering (IJAME)*. 2020. Vol. 17. No. 1. Pp. 7771–7783.

Zhang S., Wang D., Afzal N. et al. Rhythmic haptic stimuli improve short-term attention. *IEEE Transactions on Haptics*. 2016. Vol. 9. No. 3. Pp. 437–442.

Zhang R., Yang Y., Fang Q. et al. Effect of indoors artificial lighting conditions on computer-based learning performance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17. No. 7. P. 2537.

Статья поступила в редакцию 21.08.2020, принята к публикации 14.10.2020
The article was received on 21.08.2020, accepted for publication 14.10.2020

Сведения об авторах / About the authors

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

Olga N. Tkachenko – PhD in Biology; research fellow at the Laboratory of Sleep and Wakefulness Neurobiology, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Russian Academy of Science, Moscow

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5100-8980
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

Vladimir B. Dorokhov – Dr. Hab. in Biology; head at the Laboratory of Neurobiology of Sleep and Wakefulness, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Russian Academy of Science, Moscow

ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3533-9496
E-mail: vbdorokhov@mail.ru

Валерий Васильевич Дементиенко – доктор технических наук; ведущий научный сотрудник лаборатории медицинской электроники, Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН, г. Москва

Valeriy V. Dementienko – Dr. Hab. in Engineering Science; leading research fellow at the Laboratory of Medical Electronics, Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics, Russian Academy of Science, Moscow

ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0488-7334
E-mail: dementienko@neurocom.ru

Заявленный вклад авторов

О.Н. Ткаченко – анализ источников разделов «Запаховая стимуляция», «Вибростимуляция»
В.Б. Дорохов – анализ источников раздела «Коротковолновой свет»
В.В. Дементиенко – анализ источников разделов «Снижение температуры окружающей среды», «Аудиостимуляция»

Contribution of the authors

O.N. Tkachenko – analysis of the sources of the sections “Smell stimulation”, “Vibration stimulation”
V.B. Dorokhov – analysis of sources of the section “Shortwave light”
V.V. Dementienko – analysis of the sources of the sections “Reducing the ambient temperature”, “Audio stimulation”

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи
All authors have read and approved the final manuscript

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

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ

2020. Т. 10. № 4

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

Авторы статей несут полную ответственность за точность приводимой информации, цитат, ссылок и списка литературы.

Перепечатка материалов, опубликованных в журнале, невозможна без письменного разрешения редакции.

Подписано в печать 29.12.2020 г.
Формат 60×90 1/16. Гарнитура «Times New Roman».
Объем 7.75 п. л. Тираж 1000 экз.